

Philipps



Universität
Marburg

Effects of concentrate feed levels and herd management on roughage feeding behaviour of dairy goats

Einfluss der Kraftfuttermenge und des Herdenmanagements auf das Raufutteraufnahmeverhalten von Milchziegen

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

dem
Fachbereich Biologie
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Sybille Schaefer
aus Neuwied

Marburg an der Lahn
Juli 2016

Die Datenerfassung zur vorliegenden Arbeit wurde am Johann Heinrich von Thünen-Institut für Ökologischen Landbau in Trenthorst (Schleswig-Holstein) durchgeführt.

Vom Fachbereich Biologie der Philipps-Universität Marburg
als Dissertation angenommen am: _____

Erstgutachter: Prof. Dr. Lothar A. Beck

Zweitgutachter: Prof. Dr. Uwe Homberg

Externer Gutachter: Prof. Dr. Gerold Rahmann

Tag der mündlichen Prüfung: _____

Laut § 9 (1) der Promotionsordnung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fachbereiche und des Medizinischen Fachbereichs für seine mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer der Philipps-Universität Marburg vom 15.07.2009 ist „in einer gesonderten Erklärung darzulegen, welchen Anteil die Doktorandin [...] an den Publikationen hatte.“

„Bewertung ausgewählter Methoden zur Erfassung und Analyse des Heu- und Grünfutteraufnahmeverhaltens von Milchziegen“ (Chapter 2):

- gemeinsame Themenentwicklung mit Prof. Dr. Gerold Rahmann
- selbstständige Planung der Untersuchungen in Abstimmung mit Prof. Dr. Gerold Rahmann
- selbstständige Aufnahme, Aufbereitung und Auswertung der Daten inkl. Auswahl der statistischen Verfahren
- Laura Schneider (studentische Praktikantin) unterstützte (nach intensiver Einweisung durch mich) bei der Auswertung der Videoaufnahmen
- eigenständige Anfertigung aller Abbildungen und Tabellen im Manuskript, bis auf Abbildung 1 (Foto: Laura Schneider)
- eigenständige Anfertigung des Manuskripts in Zusammenarbeit mit Dr. Anja Wasilewski

Dieses Manuskript befindet sich bei der Zeitschrift "*Applied Agricultural and Forestry Research*" in Begutachtung.

„Effects of reduced concentrate feed on dairy goat productivity, and evidence of dominance-related compensatory roughage feeding behaviour“ (Chapter 3):

- gemeinsame Themenentwicklung mit Prof. Dr. Gerold Rahmann
- selbstständige Planung der Untersuchungen in Abstimmung mit Herrn Prof. Dr. Rahmann
- selbstständige Aufnahme, Aufbereitung und Auswertung der Daten inkl. Auswahl der statistischen Verfahren
- Laura Schneider und Carlotta Hoffmann (studentische Praktikantinnen) unterstützten (nach intensiver Einweisung durch mich) bei den Direktbeobachtungen im Stall zur Erstellung der Dominanzhierarchie
- eigenständige Anfertigung aller Abbildungen und Tabellen im Manuskript
- eigenständige Anfertigung des Manuskripts in Zusammenarbeit mit Dr. Anja Wasilewski

Dieses Manuskript befindet sich bei der Zeitschrift "*Applied Agricultural and Forestry Research*" in Begutachtung.

„Types of dry-roughage feeding in young goats following introduction into the adult herd – behavioural patterns associated with avoiding competition from established members“ (Chapter 4):

- Das Manuskript basiert auf den Rohdaten der unter meiner praktischen Anleitung durchgeführten Bachelorarbeit von Laura Schneider.
- gemeinsame Konzeption dieser Bachelorarbeit mit Dr. Anja Wasilewski
- gemeinsame Themenentwicklung des Manuskripts mit Dr. Anja Wasilewski
- eigenständige, neue Auswertung, der durch Laura Schneider erhobenen Rohdaten
- eigene Anfertigung aller Abbildungen und Tabellen im Manuskript
- eigenständige Anfertigung des Manuskripts in Zusammenarbeit mit Dr. Anja Wasilewski

Dieses Manuskript wurde bei der Zeitschrift "*Journal of Ethology*" eingereicht.



*"The greatness of a nation and its moral progress
can be judged by the way its animals are treated."*

(Mahatma Gandhi)

Table of Contents

Summary	1
Zusammenfassung	5
1 Introduction	10
References	16
2 Manuscript I	
Bewertung ausgewählter Methoden zur Erfassung und Analyse des Heu- und Grünfutteraufnahmeverhaltens von Milchziegen	
Zusammenfassung	18
Summary	19
Einleitung	20
Methoden zur Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens domestizierter Wiederkäuer	22
Nicht-visuelle Methoden	22
Visuelle Methoden	23
Zeitintervalle bei visuellen Momentaufnahmen	25
Tiere, Material und Methoden	27
Untersuchungsherde und Verhaltenskategorien	27
Aufnahme und Auszählung der Verhaltensdaten	29
Referenzstandards der Methoden- und Intervalllängenvergleiche	31
Reliabilitätsprüfungen: Diagrammtypen und Kennwerte	32
Ergebnisse	34
Leistungsstärken der visuellen Methoden	34
Leistungsstärken der verschiedenen Intervalllängen bei Videoaufzeichnungen	38
Discussion	42
Reliabilitätsbewertung der Methoden inklusive Unterschiedsursachen ihrer Resultate	42

Reliabilitäts- und Effizienzbewertung der Intervalle inklusive Unterschiedsursachen ihrer Resultate.....	44
Stall versus Weide: Relevanz des Anteils des zu untersuchenden Verhaltens.....	46
Schlussfolgerungen.....	48
Literatur.....	49

3 Manuscript II

Effects of reduced concentrate feed on dairy goat productivity, and evidence of dominance-related compensatory roughage feeding behaviour

Summary.....	53
Zusammenfassung.....	54
Introduction.....	55
Animals, Materials and Methods.....	56
Research Area.....	56
Animals, feeding management and housing conditions.....	56
Data collection.....	57
Productivity parameters and nutritional state: milk yield, live weight and fat-to-protein ratio.....	57
Roughage feeding behaviour.....	58
Dominance-relevant interactions.....	59
Statistical Analyses.....	59
Results.....	60
Productivity and nutritional states of the treatment groups.....	60
Roughage feeding frequencies of the treatment groups.....	61
Dominance indices and roughage feeding frequencies of the treatment groups Dominance indices and roughage feeding frequencies of the treatment groups.....	62
Discussion.....	64
Effects of concentrate levels on productivity and nutritional state.....	64
Evidence regarding compensatory roughage feeding behaviour.....	65

Evidence of dominance-related differences in compensatory roughage feeding behaviour.....	66
Implications of dominance-related, compensatory roughage feeding for farming practice.....	67
Conclusions.....	67
References.....	68

4 Manuscript III

Types of dry-roughage feeding in young goats following introduction into the adult herd – behavioural patterns associated with avoiding competition from established members

Abstract.....	71
Introduction.....	72
Animals, Materials and Methods.....	73
Study Area.....	73
Animals, housing conditions and feeding management.....	74
Data collection and processing.....	74
Dry-roughage feeding behaviour.....	74
Live weights.....	76
Statistical analyses.....	76
Results.....	77
Feeding category proportions (group level).....	77
Individual feeding patterns.....	78
Diversity of feeding patterns.....	78
Feeding types.....	79
Feeding patterns vs. individual-specific characteristics.....	84
Feeding patterns vs. introduction batch and horn status.....	84
Feeding patterns vs. weight.....	86
Discussion.....	88
Proportions of feeding categories at group level.....	88

Individual feeding patterns.....	89
Diversity of individual feeding patterns.....	89
Feeding types.....	90
Associations between feeding patterns and individual-specific characteristics.....	90
Feeding patterns: associations with time of introduction and horn status.....	91
Feeding patterns: associations with weight.....	92
Potential of feeding patterns as indicators of integration progress.....	93
References.....	94
5 Conclusions.....	97
Recapitulation of the three studies.....	99
Conclusions sensu stricto.....	100
Conclusions regarding methodology.....	100
Conclusions regarding animal husbandry.....	102
Outlook.....	103
References.....	104

Curriculum Vitae

Danksagung

Eidesstattliche Erklärung

Summary

- About 10,000 years BC, goats were the first ruminants to be domesticated. They were appreciated for their small body size, resistance towards diseases and undemanding food requirements. To date, most goats are being kept in developing countries as "poor man's cows". Due to marketing of goats' cheese as well as chevon (goat meat) as a new delicacy, however, the number of goats in highly industrialized Germany, for instance, has also increased in recent years.
- In Europe, goats, like cattle, are bred for high performance (dairy breeds, meat breeds). In order to maximize genetically predisposed performance, animals are fed concentrate supplements (e.g., wheat, soy, maize). This is considered problematic in the global context, with complex discussions concerning destruction of rain forests, climate change and world food supply.
- Goats are very undemanding in their food requirements, but display a pronounced ability for feed selection if the opportunity arises. Moreover, their facultative bipedalism and well-developed climbing skills enable goats to utilize leaves and young twigs as additional feed sources. Concerning the digestion of cellulose, the goat's digestive system is even more efficient than are those of sheep or cattle.
- Given the specifics of goat nutritional physiology as well as feed selection behaviour, these animals were predestined to feature in the thesis presented. The aim of this dissertation was to investigate potential compensatory patterns of roughage feeding behaviour at two different stages in the life of dairy goats kept under commercial husbandry conditions (breed: "German improved fawn" = "Bunte Deutsche Edelziege"). For this, behaviour of 16 young dairy goats (age: approx. 8 months; of which 9 goats were genetically hornless) as well as 51 and 41 adult horned dairy goats (age: 2 to 7 years; with difference in herd size due to different seasons), respectively, was analyzed within different study approaches. Analyses were effected at individual level as well as at group/herd level. Study animals were kept under organic standards (EU-organic-regulation No 889/2008 with code of practice No 834/2007; Bio Suisse guidelines). They spent half the day at pasture, for the rest of the day and during the night they were stabled in a loose-housing barn with ad lib. hay at the feeding table. All observations were conducted under commercial husbandry conditions and incorporated into the daily routine at the research station of the Johann Heinrich von Thünen-Institute of Organic Farming (Wulmenau, Schleswig-Holstein).

- The three studies comprising the thesis presented here, cover the full spectrum of ethological approaches, i.e., methodological, experimental and empiric.
- Data collection for the methodological study included direct observations (behaviour sampling), digital photography (instantaneous scan sampling) and digital video recordings (continuous recording followed by instantaneous time sampling). Data for the experimental study were collected using direct observations (behaviour sampling) and digital video recordings (continuous recording followed by instantaneous time sampling). With respect to the empirical study, data were collected exclusively by direct observation (continuous focal animal sampling). Data were analyzed using Microsoft© Excel and statistical software "R" (Version 3.2.1).
- The preceding methodological study served to assess reliability and efficiency of different visual methods for recording and evaluating feeding behaviour exhibited in the barn and at pasture. Behaviour was recorded simultaneously using direct observation, still photography and videos at 3-min intervals over a total of 6 hours (video footage was continuous and subsequently broken down into 3-min intervals). In a first step, agreement between measurements of the three sets of data with a reference data set was quantified using the Bland-Altman method. To date, this statistical method for assessing agreement between two methods of measurement is rarely applied in ethological research; it is predominantly used in clinical research as the standard test. (In medical studies, appropriateness of the test being used for comparing established and alternative treatment methods is of literally vital importance, as human lives depend on it.) Reliability assessment was based on the "median of percental deviation", which had been specifically devised in the course of the methodological study and served as a quantitative cut-off criterion. The reliability assessment conducted in this investigation is universally applicable. The procedure developed hence has the potential to contribute towards increasing the degree of comparability between future studies. In a second step, data sets corresponding to interval lengths of between 3 and 12 min were generated and compared with a data set that had been evaluated at 1-min intervals.
- Only continuous video footage proved appropriate for recording the feeding behaviour of larger herds ($n = 41$ and 51 individuals, respectively) in the loose-house and at pasture, since continuous videos allow to identify inconclusive behaviour (and hence complete the data set) by winding the recording back and forth. For data collected in the barn, the longest interval yielding representative data was 3 min. At pasture, feeding frequencies were five times as high as in the barn, which additionally rendered 5- and 8-min intervals sufficiently reliable. The temporal

organization of the respective behaviour (frequency, duration) thus determined the selection of the longest, sufficiently reliable interval.

- Three years prior to data collection, the 41 adult goats had been assigned to two treatment groups, which received different concentrate rations, though they continued to live as one herd. Concentrate for Group A ($n = 18$) equalled 40 % of total yearly amount of dry matter (= 1000 g per animal and day during lactation), Group B ($n = 23$) received 10 % concentrate (= 100 g). Concentrate was fed during milking. In this experimental study, roughage feeding behaviour (hay, straw, grass) in the barn and at pasture was recorded on video over a total of 30 hours. Footage was subsequently evaluated at 3-min intervals (resulting in 600 data points per animal = 24.600 in total). Behaviour sampling was used to record dominance-related interactions during a total of 97 hours ($i = 4.017$). Individual 240 day-milk yields, live weight and milk fat-to-protein ratio were included in the analyses.

Results supported a positive relation between concentrate level and productivity. In both groups, fat-to-protein ratio indicated a balanced nutritional state. Group B animals exhibited lower weight (-6 %) as well as milk yield (-17 %) than those of Group A. Moreover, frequencies of roughage feeding were significantly higher for Group B animals than for Group A goats. In conjunction, these findings suggest roughage feeding to be at least partially compensatory. Dominance indices were positively correlated with hay feeding frequencies in the barn, and significantly negatively correlated with grazing at pasture.

For low-ranking goats, the compensatory time at pasture is of particular relevance. High-ranking animals are far less able to monopolize roughage at pasture (i.e., grass) than in the barn (hay, cut grass). In the latter setting, low-ranking animals are often kept from roughage feeding.

The losses incurred through lower animal productivity due to reduced amounts of concentrate fed should be weighed against the saved costs of concentrate feed, as there might well be a financial net gain. In terms of ethical considerations concerning animal health, care should be taken to keep concentrate feed levels to the metabolic minimum required in order to avoid severe diseases (e.g., rumen acidosis).

- In the empiric study, 16 young female goats were assigned to two groups (following common husbandry practice, allocation was based on weight) and introduced into the established adult herd ($n = 41$) in two batches. Approx. two months older and also heavier, Batch 1 goats joined the herd three weeks earlier than Batch 2 goats. Data were collected in two observation periods separated by a two-week gap. Roughage feeding behaviour in the barn was investigated on a second-by-second

basis for a total of 174 h. During data recording, dry-roughage feeding behaviour was differentiated into four categories of increasing degree of spatial competition avoidance ("feeding normally", "feeding vigilant", "feeding through the barrier" and "feeding straw").

Individuals varied considerably with respect to combinations of the four category proportions ("profiles"). By arranging the profiles along two dimensions (quantity and quality) of their predominant category, five major types and a total of nine subtypes could be differentiated. In each of the two observation periods, five of the nine types had been realized; these were, however, not necessarily identical - nor was the allocation of individuals to the types. Without exception, the "Mixed Type" contained a minimum of three categories, with each of them amounting to < 50 %. "Primary Types" were defined by one of the categories equalling or exceeding 50%. They were sub-divided into "pronounced" (≥ 75 %) and "moderate" forms (≥ 50 % to < 75 %).

Newly introduced and hence unfamiliar animals need to find their place in the herd's social structures (e.g. bonds and dominance relations). The first observation period was characterized by a marked preponderance of the behavioural category associated with the highest degree of spatial competition avoidance. Prevalence of this category decreased from observation period 1 to 2; feeding normally, however, remained the exception throughout the entire duration of the study. The 16 young goats experienced a double disadvantage with respect to dominance-related access to the feeding table (due to being not only "new kids on the block" but also the youngest individuals). Analyses of the young goats' feeding types suggested that they developed individual behavioural patterns. These patterns allowed them to avoid confrontations with higher-ranking (adult) goats at the feeding table and enabled them to ingest roughage despite their low competitive abilities.

- The two studies on compensatory roughage feeding behaviour raise the importance of roughage (grass, hay and even straw) vis-à-vis concentrate feed. In feeding management, competition avoidance behaviour of low-ranking herd members may be utilized to maximize overall herd productivity.

Comprehensive and detailed knowledge of roughage feeding behaviour including aspects of competition compensation, thus benefits animals and livestock owners alike by increasing animal welfare as well as economic efficiency.

Zusammenfassung

- Ziegen waren 10.000 v. Chr. die ersten domestizierten Wiederkäuer. Sie wurden vor allem aufgrund ihrer geringen Körpergröße, Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten und Anspruchslosigkeit beim Futter geschätzt. Auch heute noch wird die "Kuh des armen Mannes" als Existenzsicherung vor allem in Schwellenländern gehalten. Aber auch im hochindustrialisierten Deutschland hat die Zahl der Ziegen, aufgrund der Vermarktung von Ziegenkäse und -fleisch u.a. als Delikatesse, in den vergangenen Jahren zugenommen.
- In Europa werden Ziegen (wie auch Rinder) auf hohe Leistungen (Milch, Fleisch) gezüchtet. Um die genetisch prädisponierte Leistungsfähigkeit voll ausschöpfen zu können, werden die Tiere mit Kraftfutter gefüttert (z. B. Weizen, Soja, Mais). Dies ist im globalen Kontext problematisch, betrachtet man die komplexen Diskussionen um Regenwaldvernichtung, Klimawandel und Welternährung.
- Ziegen sind beim Futter sehr anspruchslos, jedoch selektieren sie äußerst stark, wenn das Futterangebot dies zulässt. Ihre fakultative Bipedie und ihre hohe Kletterfähigkeit ermöglicht es Ziegen zudem an Blätter und junge Zweige heranzukommen. Das Verdauungssystem der Ziegen ist bezüglich der Cellulose-Verwertung noch effizienter als das von Schafen und Rindern.
- Aufgrund dieser speziellen Ernährungsphysiologie sowie ihres Futterselektionsverhaltens waren Ziegen prädestiniert für die vorliegende Untersuchung. Ziel dieser Doktorarbeit war, potentielle kompensatorische Verhaltensmuster der Raufutteraufnahme von Milchziegen zweier Altersstufen unter kommerziellen Praxisbedingungen zu untersuchen. Dazu wurde das Verhalten von 16 Jungziegen (Alter: ca. 8 Monate, davon 9 Tiere genetisch hornlos) und 41 bzw. 51 erwachsenen, behorneten Milchziegen (Alter: 2 bis 7 Jahre) der Rasse "Bunte Deutsche Edelziege" in verschiedenen Untersuchungsansätzen auf Individuen- und Gruppen- bzw. Herdenebene analysiert. Die Untersuchungstiere wurden nach ökologischen Richtlinien (EU-Öko-Verordnung Nr. 889/2008, Durchführungsbestimmung Nr. 834/2007 sowie "BioSuisse") in einem Tiefstreulaufstall-System gehalten, mit täglichem Weidegang und ad libitum Heuangebot am Futtertisch. Alle Beobachtungen fanden in Wulmenau (Schleswig-Holstein) auf dem Versuchsbetrieb des Johann Heinrich von Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau statt, unter kommerziellen Produktionsbedingungen bei unveränderten Betriebsabläufen.

- Die vorliegende Dissertation umfasst drei Studien, welche das gesamte Spektrum an ethologischen Forschungsansätzen abdecken: Es wurde ein methodischer, experimenteller und empirischer Ansatz gewählt.
- Die Datenerfassung der methodischen Studie schloss Direktbeobachtungen (Behaviour Sampling), digitale Fotografien (Instantaneous Scan Sampling) und digitale Videoaufnahmen (kontinuierliche Aufnahmen mit Instantaneous Time Sampling im Nachgang) ein. Für die experimentelle Untersuchung wurden die Daten mittels Direktbeobachtungen (Behaviour Sampling) und digitalen Videoaufnahmen (kontinuierliche Aufnahmen mit Instantaneous Time Sampling im Nachgang) erhoben. Die Daten zur empirischen Studie entstammen ausschließlich Direktbeobachtungen (Continuous Focal Animal Sampling). Sämtliche Datenauswertungen erfolgten mittels Microsoft® Excel und der Statistiksoftware „R“ (Version 3.2.1).
- In der vorangestellten Methodenstudie wurden verschiedene optische Erfassungs- und Auswertungsmethoden des Futteraufnahmeverhaltens jeweils im Stall und auf der Weide hinsichtlich ihrer Reliabilität und Effizienz geprüft. Dazu wurde das Verhalten simultan per Direktbeobachtung, Momentaufnahmen und Videoaufzeichnungen über insgesamt 6 Stunden im 3-Minuten-Intervall erfasst (bzw. im Falle der Videoaufzeichnungen im Nachgang im 3-Minuten-Intervall ausgewertet). Die Übereinstimmungsausmaße der Stichproben-Datensätze mit einem vollständigen Referenzsatz wurden mittels Bland-Altman-Verfahren quantifiziert. Dieses Verfahren wird in der Verhaltensforschung bislang wenig berücksichtigt; es findet vorrangig in der Humanmedizin als Standardverfahren für Methodenvergleiche Anwendung. (In der medizinischen Forschung kommt der Eignung des Verfahrens für den Vergleich zwischen etablierter und alternativer Behandlungsmethode besondere Bedeutung zu, denn dort hängen von der Entscheidung, ob die alternative Methode tatsächlich geeignet ist, Menschenleben ab.) Die Bewertung der Reliabilität anhand der Übereinstimmungsausmaße erfolgte durch den "Median der prozentualen Abweichungen", der als quantitatives Akzeptanzkriterium neu entwickelt und eingeführt wurde. Das in der vorliegenden Dissertation verwendete, mehrschrittige Vorgehen bei den Reliabilitätsprüfungen ist universell anwendbar und hat damit das Potenzial, zukünftig zu einer größeren Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Arbeiten beizutragen. Anhand der kontinuierlichen Videoaufnahmen wurden im zweiten Schritt Datensätze von Intervalllängen zwischen 3 und 12 Minuten generiert und hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit einem im 1-Minuten-Takt erhobenen Datensatz verglichen.

Für die Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens von größeren Herden ($n = 41$ bzw. 51 Tiere) im Stall und auf der Weide eigneten sich ausschließlich kontinuierliche Videoaufnahmen, um die zeitgerastert ausgezählten Daten durch Vor- und Zurückspulen komplettieren zu können. Im Stall stellten 3 Minuten das größtmögliche Intervall dar, um das Verhalten repräsentativ zu erfassen. Auf der Weide nahmen die Ziegen fünfmal so häufig Futter auf wie im Stall, weshalb hier auch 5 und 8 Minuten hätten Anwendung finden können. Ausschlaggebend für die Wahl der größtmöglichen Intervalllänge waren die entscheidenden Unterschiede in der Struktur der zeitlichen Organisation des Verhaltens (Dauer, Häufigkeit).

- Die 41 adulten Ziegen waren bereits drei Jahre vor Studienbeginn hinsichtlich ihrer Krafftuterration in zwei Versuchsgruppen aufgeteilt worden, bildeten aber eine gemeinsame Herde. Gruppe A ($n = 18$) erhielt 40 % Krafftutter in der Jahresration an Trockenmasse (= 1000 g pro Tier und Tag während der Laktation) und Gruppe B ($n = 23$) erhielt 10 % Krafftutter (= 100 g). Die Krafftuttergabe erfolgte während des Melkens. In der experimentellen Studie wurde das Raufutteraufnahmeverhalten (Heu, Gras) im Stall und auf der Weide über insgesamt 30 Stunden mittels Videoaufnahmen erfasst, die anschließend instantan im 3-Minuten-Intervall ausgewertet wurden (Ergebnis: 600 Datenpunkte pro Tier = insgesamt 24.600). Zur Ermittlung der Dominanzhierarchie wurden über insgesamt 97 Stunden alle rangrelevanten Interaktionen mittels Behaviour Sampling erfasst ($i = 4.017$). Für die Analysen wurden die 240 Tage-Milchleistung, das Lebendgewicht pro Individuum sowie der Fett-Eiweiß-Quotient der Milch einbezogen.

Eine positive Beziehung zwischen Krafftuttermenge und Produktivität konnte bestätigt werden. In beiden Gruppen wies der Fett-Eiweiß-Quotient auf einen ausgewogenen Ernährungszustand hin. Tiere der Gruppe B hatten ein geringeres Gewicht (-6 %) und eine niedrigere Milchleistung (-17 %) als Tiere der Gruppe A sowie signifikant höhere Raufutteraufnahmehäufigkeiten. Zusammengenommen ergibt sich daraus das Bild einer partiell kompensatorischen Raufutteraufnahme. Die Dominanzindizes und die Futteraufnahmehäufigkeiten beider Gruppen korrelierten hinsichtlich der Heuaufnahme im Stall positiv und des Grasens auf der Weide signifikant negativ.

Die Weide hat für rangniedrige Ziegen eine besondere kompensatorische Relevanz, denn ranghöhere Tiere können das Grünfutter auf der Weide nicht (oder nur in sehr geringem Ausmaß) monopolisieren. Im Stall hingegen ist ein hohes Potential der Monopolisierung von Heu gegeben, sodass rangniedrigere Tiere häufig an der Heuaufnahme gehindert werden.

Wägt man die geringere Produktivität bei einer kraftfutterreduzierten Fütterung gegen die Kraftfuttereinsparungen ab, kann sich ein geringerer Kraftfuttereinsatz finanziell insgesamt auszahlen. Im Sinne des ethischen Tierschutzes sollte die Kraftfuttermenge in jedem Fall auf das Nötigste begrenzt werden, da es sonst zu schweren Erkrankungen (z. B. Pansen-Azidose) kommen kann.

- Die 16 Jungziegen der empirischen Studie wurden dem üblichen Betriebsablauf entsprechend anhand ihres Gewichts in zwei Gruppen eingeteilt und anschließend mit drei Wochen Abstand voneinander in die etablierte Herde der 41 adulten Ziegen eingeführt. Die Jungziegen der Gruppe 1 waren ca. zwei Monate älter und schwerer als die der Gruppe 2. Die Datenerfassung fand über zwei (jeweils sechswöchige) Beobachtungsperioden statt, zwischen denen ca. zwei Wochen lagen. Das Futteraufnahmeverhalten wurde sekundengenau über insgesamt 174 Stunden im Stall erfasst. Bei der Datenaufnahme wurde zwischen vier Kategorien des Heu- und Strohaufnahmeverhaltens ("normales Fressen", "achtsames Fressen", "durch die Barriere am Ende des Futtertischs fressen" und "Stroh vom Boden des gesamten Laufstalls fressen") differenziert, die sich in ihrem Ausmaß der Konkurrenzvermeidung durch räumliches Ausweichen unterschieden.

Hinsichtlich der Kombination der prozentualen Anteile der vier Kategorien ("Profile") bestand eine große individuelle Variabilität. Durch Anordnen der Profile anhand zweier Dimensionen (Quantität und Qualität) ihrer primären Kategorie konnten fünf Haupttypen und insgesamt neun Untertypen differenziert werden. In jedem der beiden Beobachtungszeiträume kamen fünf der insgesamt neun Typen vor, wobei sich sowohl die Typen als auch die Zuordnung der Individuen unterschieden. Beim "Gemischten Typus" waren immer mindestens drei Kategorien vorhanden und jede von ihnen hatte einen prozentualen Anteil von $< 50\%$. Bei den „Primären Typen“ hatte eine Kategorie einen prozentualen Anteil von mindestens 50% . Der Primäre Typus wurde nochmals in einen stark ausgeprägten ($\geq 75\%$) und moderaten ($\geq 50\%$ bis $< 75\%$) Typus unterteilt.

Fremde, neu eingeführte Tiere müssen zunächst ihren Platz im Sozialgefüge (z.B. Bindungs- und Dominanzstrukturen) finden. In der ersten Untersuchungshälfte überwog mit Abstand die Verhaltenskategorie mit dem stärksten räumlichen Ausweichcharakter; von Zeitraum 1 zu 2 nahm ihre Prävalenz ab, jedoch stellte ein normales Fressen über die gesamte Untersuchungszeit hinweg die Ausnahme dar. Die 16 Jungziegen waren in zweifacher Weise (sowohl als neue Herdenmitglieder als auch als jüngste Tiere) hinsichtlich des rangabhängigen Zugangs zum Futtertisch benachteiligt. Die Analyse der Futteraufnahmetypen der Jungziegen

ergab, dass sie individuelle Verhaltensmuster entwickeln, um die Konfrontation am Futtertisch mit ranghöheren (adulten) Ziegen zu vermeiden und dennoch Futter aufnehmen zu können.

- Die beiden Studien zur kompensatorischen Raufutteraufnahme werten die Bedeutung von Raufutter (Gras, Heu und sogar Stroh) gegenüber der von Kraftfutter auf. Das Nutzen des Konkurrenzausweichverhaltens niedrigrangiger Herdenmitglieder bietet im Fütterungsmanagement einen Ansatzpunkt zur Maximierung der Herdengesamtproduktivität.

Durch eine solche Berücksichtigung umfassender und differenzierter Kenntnisse des Raufutteraufnahmeverhaltens und der kompetitiv-kompensatorischen Aspekte lassen sich sowohl Tierwohl (ethischer Tierschutz) als auch ökonomische Effizienz (anthropozentrischer Tierschutz) steigern und rentieren sich daher für den Tierhalter in mehrfacher Hinsicht.

1 Introduction

Feed is of substantial relevance in farm animal husbandry. In goats, the quantification of roughage and particularly hay feeding behaviour has so far received relatively little attention. A comprehensive and differentiated understanding of the feeding behaviour can contribute to management decisions that benefit both, economic efficiency and welfare of the farmed animals.

Goats were the first ruminants to be domesticated (Gall 2001). Domestic goats (*Capra hircus*) were derived from their wild ancestors, bezoar goats (*Capra aegagrus*), about 10,000 years BC (Gall 2001, Jensen 2009). Living off plants with high crude fibre contents, goats did not compete with humans for food (Jensen 2009).

As ruminants, goats have the typical four-sectioned stomach (Figure 1) and are able to digest cellulose with the help of endosymbionts (bacteria, protozoa) (Heldmaier and Neuweiler 2004).

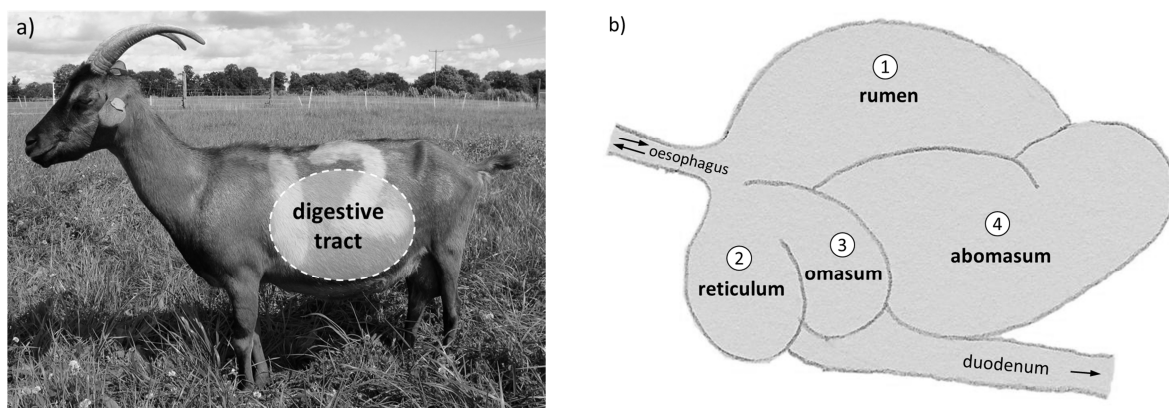


Figure 1: a) Dairy goat of study herd (horned specimen of the breed "German Improved Fawn" = „Bunte Deutsche Edelziege“) at pasture. (Photo: Sybille Schaefer)

b) Ruminant digestive system: The stomach consists of four sections, of which the first three are homologous to divisions of the oesophagus and the fourth is comparable to the stomach of monogastrics.

Arrows and numbers = directions and order of bolus migration. (Drawing: Sybille Schaefer, based on Brörkens 2010, p .77)

During the anaerobic fermentation in the rumen, cellulose is converted into short-chain fatty acids (Heldmaier and Neuweiler 2004, Fuchs and Schlegel 2007). The partially digested feed migrates from the rumen to the reticulum. Plant parts which are not subtle enough are regurgitated and chewed again. The number of regurgitations depends on the degree of digestibility (i.e. hardness of the plant fibres). Feed of high crude fibre content requires more rumination effort than starchy feed. Watersoluble substances are resorbed in the omasum (Hopp 2005). Most of the nutrients are absorbed in the duodenum and jejunum

with the help of pancreas enzymes (Kirchgeßner 2014). Compared with sheep, goats have a larger absorptive gut surface and their short chain fatty acid uptake as well as their passage rates are faster (Hofmann 1989).

The social behaviour of wild and domestic goats is influenced by a strict matriarchal dominance hierarchy within the herd (Collias 1956, Brörkens 2010). Dominance rank is influenced by several factors: Older age, long and thick horns as well as body size are positively correlated with dominance rank (Barroso et al. 2000). Nevertheless, older animals may occupy lower ranks than younger ones, due to e.g. the chronological order in which they were introduced into the established herd (Schaefer 2012, unpublished data). Dominance rank determines access to limited resources – in animal husbandry e.g. prior access to preferred feeding places (Barroso et al. 2000). Inferior herd members are commonly displaced by superior ones.

Of the various components of goat diets, concentrate is the most popular from the goats' perspective and highly contested. Especially in herds of high performance breeds, an equal allocation to all individuals is important to prevent possible health encroachments. In dairy herds, concentrate is thus usually fed in the milking parlour where the animals are fixed during milking and lower ranking animals have the opportunity to feed without being displaced by superordinates. Grass at pasture is homogenously distributed over a large area and thus can be monopolized to a far lesser extent, if at all. It is thus hay (as well as cut grass) being fed from the feeding table or from racks, which in fact becomes the most contested feed resource as it can be monopolized to the greatest extent.

Today, world population of domestic goats amounts to one billion (FAOSTAT 2014), and 93 % are being kept in developing countries as the "poor man's cow" (Jensen 2009, Gall 2001). E.g., half a litre of goat milk meets a child's daily protein requirements and one quarter of its energy needs (Gall 2001). Furthermore, goats are valuable suppliers of e.g. meat, skins, dung and wool (e.g. angora, mohair) and are also used as a means of transport (Jensen 2009).

In Europe, goats are mostly kept for their milk, which in countries like Germany, constitutes a rather prized delicacy (Brörkens 2010). Goat livestock numbers in Germany have been increasing continually since 1980 (Schiering 2012) with approx. 220,000 individuals in 2009 (Korn et al. 2013). Particularly in developed countries, profitability is in focus, and high yielding dairy breeds (e.g. "Saanen" = "Saanenziege", "Toggenburg" = "Toggenburger Ziege", "German Improved Fawn/ White" = "Bunte/ Weiße Deutsche Edelziege") as well as meat breeds (e.g. Boer Goat = "Burenziege") are in demand (Schiering 2012).

Globally, the majority of goats are kept in small herds (Gall 2001). E.g. on organic farms in Germany they live in numbers of between approx. 10 and 110 (Hesse 2002), and in

mountainous regions goatherding and transhumance are still a common form of husbandry practice.

In intensive goat farming, the animals are kept at least temporarily in housing systems. Often, performance is boosted by large amounts of high energy feed, and economic efficiency requires high stocking densities. This, however, is associated with negative consequences. A reduction of the space available for lying has, e.g., been shown to result in reductions of time spent with this behaviour (Loretz et al. 2004, Andersen and Boe 2007) and in an increase of aggressive interactions (Andersen and Boe 2007) which in turn can have detrimental effects on both, the animals' welfare and their productivity. Alleviating measures include, apart from the provision of sufficient space, (EU-organic-regulation: 1.5 m² per adult goat inside the loose-housing barn), a three-dimensional structuring of the stable (e.g. resting niches, elevated platforms) and visually compartmentalizing the places at the feeding table by screens, both of which have proven to reduce the number of agonistic interactions (Loretz and Hauser 2003, Aschwanden Leibundgut and Keil 2009).

Further factors to be taken into account with respect to maximizing productivity and welfare are the goats' particular feeding type and hence composition and amounts of the diet fed. Goats differ from other ruminants: Due to their split upper lip, goats (and sheep) are able to select plant parts which are particularly high in nutrients and/or energy (Hofmann 1989, Aschenbach and Rahmann 2010). Goats are even more efficient in selection than sheep and ingest dry matter of higher quality and therefore lower amounts (Hofmann 1989). They are also excellent climbers and, furthermore, due to their facultative bipedality they can use regions of trees and bushes as additional feed sources, which are not available to sheep and cattle (Rahmann 2004, Figure 2). Thus, e.g. feeding hedges adjacent to the pasture can complement the diet of goats (Börner et al. 2013).



Figure 2: Facultative bipedality in goats. Goats are able to stand on their hind legs for a prolonged period of time to browse leaves, buds and shoots of trees and bushes. (Photos: Sybille Schaefer)

Goats are able to meet 60 % of their feed requirements by leaves and young shoots of trees and bushes (e.g. oak, hazel, poplar, willow, raspberry) even though they are rich in tannins – sheep and cattle to only 20% and 10 %, respectively (Rahmann 2004). Due to their preference for wood, goats are also often used in conservation management to protect open landscapes (e.g. the heathlands of Lüneburger Heide) from scrub encroachment (Gall 2001, Figure 2).

To acquire a balanced proportion of energy, proteins, lipids and crude fibre, the feed of ruminants comprises different components. The diet of farm animals should be chosen by the farmer in concordance with the animals' requirements: either meeting the maintenance requirements (basal metabolism) or satisfying extra energy demands for high performances (e.g. growth, gestation, lactation).

A dairy goat's diet usually contains concentrate feed (Krafftutter) and roughage feed (mainly hay, grass) in varying proportions. Wood as feed is optional but "gladly" accepted by goats (Rahmann 2004). Concentrate feed, pure or as a mixture, consists of grains (e.g. wheat, maize) or oilseeds (soy, rape). High in both energy and nutrient density, it is mainly given to improve the animals' performance (Brörkens 2010). Hay consists of dried grass and herbs (Brörkens 2010) and can replace cut green fodder or grazing at pasture during winter; it can also be fed as a supplement in summer if pasture access is restricted. During drying, care should be taken to prevent growth of mould fungus (Rahmann 2010). Grass can be fed on pasture or as fresh green fodder in the housing system.

Concentrate feed constitutes the major component of the feed ration, particularly on conventional farms (Witzke et al. 2014). On these, no legal restrictions limit the amount of

concentrate fed in order to maximize milk production and fattening. Feeding large amounts of concentrate (especially soy) to farm animals competes with human world nutrition (Rahmann and Oppermann 2010). Reducing the proportion of grains and oilseed being fed to farm animals offers an opportunity to increase food availability for human consumption (Rahmann and Oppermann, 2010). Cutting down concentrate rations also has other beneficial effects as it can help saving the farmers' money, and in ruminant species a concentrate-reduced diet has been shown to be healthier for the animals' digestive tracts: Through a lack in crude fibre, high energy and protein feed can decrease rumen-pH-value to below 5.0 and subsequently lead to rumen acidosis (Gall, 2001). When it comes to high-performance dairy animals, however, farmers are often apprehensive of lower milk production and health encroachment (Rahmann et al., 2009; Rahmann and Oppermann, 2010). An energy deficit can lead to ketosis (starvation) and consequently to a loss of body substance (fat deposit, muscle protein). In high-performance breeds with their genetic potential for high milk yields, reduced concentrate levels can therefore also become an animal welfare issue.

In organic farming, concentrate amounts are limited to protect the animals' health as well as the environment: According to EU-organic-regulation N° 889/2008 (with code of practice N° 834/2007) concentrate may not exceed 40 % of the yearly amount of dry matter; the guidelines of Bio Suisse are even stricter, limiting proportions to 10 % (Bio Suisse 2016). The research project "Feed less food in organic dairy goat husbandry" of the Thuenen-Institute of Organic Farming, in which the presented thesis is embedded, assesses impacts of reduced concentrate feed on high-performance dairy goats.

Productivity losses due to substantially and permanently reduced concentrate rations may not be as massive as apprehended, if the animals are able to adapt their feeding behaviour and thereby acquire additional energy from hay and/or grass. Goats are predisposed for such an experimental study due to their pronounced abilities for the selection of high-quality plant parts as well as for the utilization of cellulose. The quantitative individual-based investigation and assessment of potential compensatory roughage feeding behaviour constitutes the focal aspect of the presented thesis (Chapter 3). The experimental investigation presented in Chapter 3 analyzes potential negative effects of two reduced concentrate levels on productivity parameters (milk yield and live weight) and nutritional state (milk fat-to-protein ratio), potential compensatory alterations in roughage feeding behaviour (hay and grass) and potential dominance-related differences in compensatory roughage feeding behaviour.

The experimental study was preceded by a methodological study. No standard protocol was available for the collection and assessment of roughage feeding behaviour of goats or other ruminants either at pasture or in the loose-housing barn. The commercial husbandry

conditions (large herd, barn and separate pasture) under which this study was conducted in order to produce transferable results, was an additional methodological challenge, as was the requirement to find a method that renders data recorded in both situations comparable. Hence, the first step was a methodological study that compared different visual recording methods and evaluation time intervals in order to identify a reliable and efficient method (Chapter 2).

Particularly in periods without access to pasture and/or concentrate feed (e.g. during the non-lactating period), hay is an important resource. As hay can be strongly monopolized by dominant animals, subordinates run the risk of not being able to gain sufficient access, with negative consequences for their health and performance. The situation is exacerbated when inevitable management procedures require changes in herd composition, as dominance relations need to be re-determined or determined anew, and this is associated with an increase in agonistic interactions and energy expenditure, social stress and risk of injuries. These consequences are particularly pronounced when new and thus unfamiliar individuals are being introduced into the herd. These so-called replacements are usually young and hence low-ranking individuals. They are confronted with both, an unfamiliar environment and a preponderance of unfamiliar adult goats, and yet need to meet their nutritional requirements. The third component of the thesis thus focused on a detailed investigation of young replacement goats' hay-feeding behaviour over 14 weeks after introduction to gain a further insight into potential behavioural patterns that reduce competition for and conflicts over hay with established herd members at preferred feeding times (Chapter 4). This empiric and explorative study quantifies the proportions of four hay feeding behaviour categories, identifies individual feeding patterns and main feeding types over two observation periods and compares them with physical parameters including changes in body weight.

Taken together, these three studies set out to provide 1) a methodological basis for the assessment of roughage feeding behaviour, 2) an investigation of the extent to which roughage feeding behaviour may be employed to compensate for reductions in concentrate feed levels and 3) a detailed examination of competition compensating aspects of hay feeding in newly introduced young replacement goats (German technical term = "Zutreter", i.e. young females selected to join the dairy herd), i.e. the most vulnerable subgroup of the main herd.

References

- Andersen IL, Boe KE (2007) Resting pattern and social interactions in goats – The impact of size and organisation of lying space. *Applied Animal Behaviour Science* 108: 89-103
- Aschenbach F, Rahmann G (2010) Bedeutung der Raufutterselektionsfähigkeit von Ziegen für ihre Ernährung. *Applied Agricultural and Forestry Research (Special Issue)* 346:91-98
- Aschwanden Leibundgut J, Keil NM (2009) Behornte Ziegen im Laufstall - Wie bringt man Ruhe in die Herde? Forschungsanstalt Agroscope, Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen
- Barroso FG, Alados CL, Boza J (2000) Social hierarchy in the domestic goat: effect on food habits and production. *Applied Animal Behaviour Science* 69:35-53
- Bio-Suisse (2016) Richtlinien für die Erzeugung, Verarbeitung und den Handel von Knospe-Produkten. Fassung vom 01.06.2016, Kapitel 4.2, http://www.bio-suisse.ch/media/VundH/Regelwerk/2016/DE/rl_2016_1.6_d_gesamt_14.7.2016.pdf [last accessed: 25.07.2016]
- Börner W, Ude G, Bender S, Georg H (2013) Beweidung von Futterhecken mit Ziegenlämmern. *Applied Agricultural and Forestry Research* 1:69-78
- Brörkens, N. (2010) Ziegen - Artgerecht und natürlich halten. Kosmos Verlag, Stuttgart
- Collias N E (1956) The analysis of socialization in sheep and goats. *Ecology* 37:228-239
- FAOSTAT (2014) <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QA/E> [last accessed: 13.07.2016]
- Fuchs G, Schlegel H (2007) Allgemeine Mikrobiologie. Georg Thieme, Stuttgart, New York
- Gall C (2001) Ziegenzucht. Eugen Ulmer, Stuttgart (Hohenheim)
- Heldmaier G, Neuweiler G (2004) Vergleichende Tierphysiologie. Band 2: Vegetative Physiologie. Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- Hesse N (2002) Milchziegenhaltung in Deutschland – Historische Betrachtung und Stand der Milchziegenhaltung im Ökologischen Landbau. Diploma Thesis, University of Kassel, Faculty "Landwirtschaft, Internationale Agrarentwicklung und Ökologische Umweltsicherung"
- Hofmann RR (1989) Evolutionary steps of ecophysiological adaption and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78:443-457

- Hopp V (2005) Verdauung (Kap. XII). In: Grundlagen der Life Sciences: Chemie, Biologie, Energetik. Wiley-VCH, Weinheim
- Jensen P (ed) (2009) The Ethology of Domestic Animals. Wallingford, Cambridge: CABI
- Kirchgeßner M (2014) Tierernährung. DLG-Verlag, Frankfurt
- Korn von S, Jaudas U, Trautwein H (2013) Landwirtschaftliche Ziegenhaltung. Eugen Ulmer, Stuttgart (Hohenheim)
- Loretz C, Hauser R (2003) Behornte Ziegen im Laufstall? Zusätzliche Fressplätze reduzieren Probleme der rangtiefen Ziegen. FAT Report Nr. 606
- Loretz C, Wechsler B, Hauser R, Rüsch P (2004) A comparison of space requirements of horned and hornless goats at the feed barrier and in the lying area. Applied Animal Behaviour Science 87:275-283
- Rahmann G (2004) Gehölzfutter – eine neue Quelle für die ökologische Tierernährung. Applied Agricultural and Forestry Research (Special Issue) 272:29-42
- Rahmann G, Oppermann R, Paulsen H M, Weißmann F (2009) Good, but not good enough? Research and development needs in Organic Farming. Applied Agricultural and Forestry Research 59:29-40
- Rahmann G (2010) Ökologische Schaf- und Ziegenhaltung – 100 Fragen und Antworten für die Praxis. Trenthorst: Institut für Ökologischen Landbau (ed)
- Rahmann G, Oppermann R (2010) “Feed less Food” als eine Möglichkeit, die zunehmende Weltbevölkerung zu ernähren. Applied Agricultural and Forestry Research (Special Issue) 341:75-84
- Schaefer S (2012) Situationsspezifische Interaktionsstrukturen und Assoziationsgefüge bei Milchziegen. Philipps-University Marburg, Faculty of Biology (unpublished Master-Thesis)
- Schiering L (2012) Ziegen – Freundliche Querköpfe. KOMET-Verlag GmbH, Köln
- Witzke H von, Noleppa S, Zhirkova I (2014) Fleisch frisst Land – Ernährungsweisen, Fleischkonsum, Flächenverbrauch. Berlin: WWF (World Wide Fund for Nature) (ed)

2 Manuscript I

Titel

Bewertung ausgewählter Methoden zur Erfassung und Analyse des Heu- und Grünfutteraufnahmeverhaltens von Milchziegen

Autoren

Sybille Schaefer^{1,2}, Anja Wasilewski¹ und Gerold Rahmann²

¹Philipps-Universität Marburg, Fachbereich Biologie, Karl-v.-Frisch-Str. 8, 35043 Marburg, Germany

²Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Germany

Zusammenfassung

Erstes Ziel war die Identifikation einer geeigneten Methode zur ethologischen Erfassung des Raufutteraufnahmeverhaltens von Ziegen unter Freilauf-Haltungsbedingungen. Je 3 Stunden im Stall und auf der Weide wurden alle 3 Minuten Momentaufnahmen simultan mittels Direktbeobachtung, Fotografien und Videoaufnahmen gemacht. Keine Methode erlaubte die Identifizierung des Futteraufnahmestatus jedes Tiers (Stall: n=51, Weide: n=41) zu jedem Zeitpunkt. Dies wurde nur durch Komplettierung der Videodaten mittels Vor- und zurück-Spulen erreicht (=Referenzdatensatz). Im Vergleich der instantanen Methoden mit dem Referenzdatensatz mittels Kasten- und Bland-Altman-Grafiken sowie Medianen der prozentualen Abweichungen zeigten die Videobilder die größte Reliabilität, jedoch ohne das Gütekriterium ($\geq 90\%$ Übereinstimmung) zu erfüllen. Zur Ermittlung des effizientesten Zeitrasters für die Auswertung der komplettierten Videodaten wurden 3-, 5-, 8- und 12-Minuten-Intervalle mit dem Referenzdatensatz (1 Minute) verglichen. Die Reliabilitätstests erfolgten wie beim Methodenvergleich. Bei den Stalldaten erfüllten einzig 3 Minuten das Kriterium, bei den Weidedaten 3, 5 und 8 Minuten. Diese Eignungsbewertung ist teilweise restriktiver als in vergleichbaren Studien. Die Differenzen zwischen den für Heu- und Grünfutteraufnahme geeigneten Intervallen werden v.a. auf Unterschiede in der zeitlichen Struktur des jeweiligen Verhaltens zurückgeführt. Für methodische Entscheidungen kann die Relevanz der zeitlichen Struktur (Anteil, Häufigkeit, Dauer) größer sein als die der Zugehörigkeit zum Verhaltensbereich.

Schlüsselwörter: Methodenvergleich, Foto, Video, Direktbeobachtung, Reliabilität, Effizienz, Intervalllänge, Raufutter, Futteraufnahme, Verhalten, „Feed less Food“

Title

Assessment of selected methods for recording and analyzing the hay feeding and grazing behaviour of dairy goats

Summary

The first aim was to identify an adequate ethological recording method for the roughage feeding behaviour of goats under loose-house conditions. Over 3 hours in the barn and at pasture, respectively, instantaneous data were collected every 3 minutes simultaneously by direct observation, still photography and video recordings. None of the methods allowed identification of the feeding status of every animal (barn: n=51, pasture: n=41) at every sampling point. This was only achieved by complementing the video data by winding recordings back and forth (=reference dataset). Comparing the instantaneous methods with the reference dataset by boxplots, Bland-Altman plots and medians of percental deviations, the video images had the highest reliability, but still failed the goodness-of-fit-criterion ($\geq 90\%$ correspondence). In order to identify the most efficient sampling interval for the complemented video data, 3-, 5-, 8- and 12-minute intervals were compared with the reference dataset (1 minute). Reliability tests were conducted in the same way as those of the method comparisons. For the barn data, only 3 minutes were sufficiently reliable; for the pasture data 3, 5 and 8 minutes met the criterion. This assessment of aptitude is more restrictive than in a number of comparable studies. Differences between the intervals appropriate for hay versus grass feeding are attributed mostly to different temporal structures of these behaviours. For methodological decisions, the temporal structure of a behaviour (proportion, frequency, duration) may be more relevant than its general category.

Keywords: method comparison, photo, video, direct observation, reliability, efficiency, interval length, roughage, feeding, behaviour, "Feed less Food"

1 Einleitung

Die Balance zwischen ökonomischer Effizienz und Wohlbefinden eines Tieres zu halten, ist eine der großen Herausforderungen für jeden kommerziellen Tierhalter (zum Beispiel McGlone, 2001; Rahmann, 2009) und bietet zugleich die Möglichkeit, Aspekte des anthropozentrischen und ethischen Tierschutzes gleichermaßen zu berücksichtigen. Die wirtschaftliche Leistung von Ziegen wird auf den meisten Betrieben durch Parameter wie Milchmenge und -inhaltsstoffe, Anzahl an Nachkommen sowie Gewichtszunahmen quantifiziert und die Bestimmung dieser Leistungsparameter ist Routine. Demgegenüber ist das Messen von Wohlbefinden (Animal Welfare) in der alltäglichen Praxis weniger üblich, komplexer und wissenschaftlich bisher nur mittels multidisziplinärer Datenerhebung bewertbar (zum Beispiel Broom, 1988; McGlone, 2001; Dawkins, 2003). Es lässt sich nach anhand ethologischer, physiologischer, pathologischer und leistungsbezogener Indikatoren messen (Zusammenstellung beispielsweise bei Köhler, 2005) und im Falle eines biologischen Ungleichgewichts (zum Beispiel Futtermangel, negativer Stress, Krankheit) wird physiologischen Veränderungen stets eine Verhaltensänderung vorausgehen. Aufgrund dieser höheren Sensibilität von ethologischen Modifikationen als Indikatoren für eine Beeinträchtigung des Tierwohls, besitzt die Verhaltens Erfassung ein Potential von wirtschaftlicher Relevanz für die Tierhalter (Keeling und Gonyou, 2001; Wasilewski, 2003; Schaefer, 2012). Die quantitative Erfassung des Heu- und Grünfutteraufnahmeverhaltens als ethologischer Indikator ermöglicht, Veränderungen im Futteraufnahmeverhalten frühzeitig festzustellen und ernährungsbedingten negativen Auswirkungen auf die Tiergesundheit vorzubeugen.

Zur zuverlässigen Erfassung und Bewertung des Futteraufnahmeverhaltens sind adäquate quantitative Methoden essentiell. Eine grundsätzliche Entscheidung bei der Auswahl für die jeweilige Fragestellung geeigneter Erfassungsmethoden ist die Wahl zwischen nicht-visuellen und visuellen Methoden: Unter nicht-visuellen Methoden werden zum Beispiel Ortungssysteme, Bewegungssensoren und optoelektronische Systeme zusammengefasst (Tabelle 1). Bei ihnen erfolgt die Datenerfassung vollständig automatisiert und die Auswertung der aufgezeichneten Signale mittels spezieller Computer-Software. Visuelle Methoden wie Direktbeobachtung sowie Fotografien und Videoaufzeichnungen erfordern die unmittelbare beziehungsweise nachträgliche Interpretation des Futteraufnahmestatus anhand von „gesehenen Bildern“ (Tabelle 2).

Für die Quantifizierung des individuellen Heu- und Grünfutteraufnahmeverhaltens aller Individuen einer größeren Herde, wie die der vorliegenden Studie ($n > 40$), sind sämtliche elektronischen Geräte (und auch automatische Fütterungssysteme, sofern sie nicht ohnehin bereits etabliert sind) allein durch ihre hohen Anschaffungskosten ungeeignet. Hinzu kommt ein großer Zeitbedarf für die Auswertung der umfangreichen und komplexen Daten, die in

der Regel zudem die kostenpflichtige Anschaffung von Spezial-Software erfordert. Allen nicht-visuellen Methoden gemeinsam ist der bedeutende Nachteil, dass sie keine Kontextinformationen erfassen. Sensoren, die beispielsweise nur Kopf- oder Kaubewegungen aufzeichnen, sind für weitere Einflussfaktoren (zum Beispiel Wetter, etwaige „Störungen“ durch den Menschen, gesundheitliche Beeinträchtigungen) „blind“. Eine korrekte Bewertung der erhobenen Daten fällt dann – vor allem, wenn die Messwerte nicht eindeutig sind – schwer. Die visuelle Erfassung hingegen lässt die Registrierung dieser weiteren Einflussfaktoren zu.

Bisher gibt es keine standardisierten Methoden, das Raufutteraufnahmeverhalten von Wiederkäuern quantitativ zu erfassen, unter Berücksichtigung des Kontextes zu bewerten und somit vergleichbar zu machen und es wurde unseres Wissens bisher kein Versuch unternommen, Heu- und Grünfutteraufnahmeverhalten in ein und derselben Studie zu vergleichen. Zudem wurde bisher die Eignung digitaler Fotografien zur Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens von Milchziegen im Stall und auf der Weide nicht im direkten Vergleich mit anderen visuellen Methoden überprüft. Die vorliegende Studie soll, am Beispiel der gewählten Ziegenherde, zur Wahl und Etablierung einer geeigneten Methode beitragen sowie Orientierungshilfen bei der Konzeption und Durchführung von Methoden-Reliabilitätstests für ähnliche Untersuchungen anbieten.

Die Studie ist zweistufig aufgebaut: Das erste Ziel liegt in der grundsätzlichen Identifikation einer reliablen visuellen Erfassungsmethode (Direktbeobachtung, Fotografien und instantane Videostandbilder), das zweite in der Optimierung von Praktikabilität und Effizienz in der Anwendung (Identifikation des effizientesten Auswertungsintervalls der Videoaufzeichnungen).

2 Methoden zur Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens domestizierter Wiederkäuer

2.1 Nicht-visuelle Methoden

Bei der vollständig automatisierten, nicht-visuellen Erfassung der Futteraufnahme (Tabelle 1) kommen hauptsächlich elektronische Geräte wie GPS-basierte Ortungssysteme, Beschleunigungs-, Dehnungs- und Drucksensoren sowie optoelektronische Systeme (zum Beispiel Wiegetröge mit Lichtschranken und elektronischer Tiererkennung) zum Einsatz.

Tabelle 1: Ausgewählte Studien zu nicht-visuellen Erfassungsmethoden des Futteraufnahmeverhaltens von Wiederkäuern. Bei den meisten dieser Methoden wird das einzelne Tier mit dem entsprechenden Sensor ausgestattet. Nur bei den optoelektronischen Systemen tragen die Tiere lediglich Responder und die Sensoren sind an Komponenten der Stalleinrichtung angebracht.

Methoden	Exemplarische Studien	Datentyp (und ggf. Befestigungsart)	Tiere
Ortungssysteme			
Global Positioning System (GPS)	Schlecht et al., 2004	Aufenthaltsbestimmung auf der Weide (Rückenbefestigung)	Rinder
GPS und Bewegungssensoren (Lotek®)	Brosh et al., 2006	Aufenthaltsbestimmung beim Grasens und Erfassung der Aktivitäten an den jeweiligen Standorten (Halsbandbefestigung)	Rinder
Local Positioning Measurement (LPM® ABATEC electronics)	Gygax et al., 2007 Neisen et al., 2009	Aufenthaltsbestimmung im Laufstall (Halsbandbefestigung)	Rinder
Echtzeit-Positionierungssystem (Ubisense 7000®)	Georg et al., 2012 Bender et al., 2012	Nutzung verschiedener Außenbereiche: Weide, Futterhecken, Hütten (Brustgurtbefestigung)	Ziegen
Accelerometer (Beschleunigungssensoren)			
IceTag3D™, Hobo® Pendant™ G	Blomberg, 2011	Grasverhalten (Halsband- und Hinterlaufbefestigung)	Rinder
Hobo® Pendant™ G	Moreau et al., 2009	Auf- und Abbewegungen des Kopfes beim Grasens (Halsbandbefestigung)	Ziegen
IceTag3D™	Nielsen et al., 2010	Lokomotorische Aktivität im Laufstall (Hinterlaufbefestigung)	Rinder
Actiwatch® (Activity Monitoring System = AMS)	Müller und Schrader, 2003	Lokomotorische Aktivität im Laufstall (Hinterlaufbefestigung)	Rinder
ETHOSYS® (Beschleunigungs- und Kopfpositionssensor)	Scheibe et al., 1998	Grasverhalten und Aktivität (Halsbandbefestigung)	Schafe (Pferde)
Jaw-Movement-Recorder (Dehnungs- und Drucksensoren)			
„Jaw-recorder“ (mit „Dehnungsmessstreifen“: Veränderung des elektrischen Widerstands bei Dehnung)	Matsui, 1994	Anzahl an Kauschlägen und Pausen zwischen einzelnen Kauschlägen	Ziegen Schafe Rinder
APEC® Drucksensor: luftgefüllter Silikonschlauch	Abijaoudé et al., 1999 Desnoyers et al., 2009	Kieferbewegungen beim Aufnehmen, Zerkauen und Wiederkäuen von Nahrung	Ziegen
MSR®145-Logger: Drucksensor: ölgefüllter Silikonschlauch	Nydegger et al., 2011	Kieferbewegungen beim Aufnehmen, Zerkauen und Wiederkäuen von Nahrung	Rinder

Fortsetzung Tabelle 1			
Optoelektronische Systeme			
Wiegetröge und elektronische Tiererkennung (Ohr-Responder und Infrarotsensoren)	Kaufmann et al., 2007	Häufigkeit, Dauer und jeweils aufgenommene Futtermenge pro Aufenthalt am Futtertisch	Rinder
„Rechnergesteuerter Futterstand“ (Tiererkennung: elektronisch und über Lichtschranke)	Wendl et al., 1999	Häufigkeit, Dauer und jeweils aufgenommene Futtermenge pro Aufenthalt am Futtertisch	Schafe
GrowSafe Systems®: Überwachungssystem am Futtertisch	DeVries et al., 2003 DeVries et al., 2004	Häufigkeit und Dauer pro Aufenthalt am Futtertisch	Rinder

Die nicht-visuellen Methoden sind aus den bereits in Kapitel 1 dargelegten Gründen für die vorliegende Studie nicht geeignet. Je nach Herdengröße und (technischer) Betriebsausstattung können sie aber bei zukünftigen Anwendungsstudien das Spektrum der zur Auswahl stehenden Methoden erweitern.

2.2 Visuelle Methoden

Direktbeobachtungen, Fotografien und Videoaufzeichnungen ermöglichen das Erfassen des Futteraufnahmeverhaltens jedes Individuums auch bei größeren Herden. Bei den Vorüberlegungen zur Methodenwahl ist neben der Reliabilität (siehe weiter unten) die Effizienz (Aufwand-Nutzen-Relation) ein ausschlaggebendes Kriterium. Sie wird bei der Datenaufnahme und anschließenden Auswertung vor allem von Aspekten wie dem Datentyp und den entsprechenden Dateneigenschaften, dem Ausrüstungs- und Arbeitsaufwand sowie den Fehlerquellen bestimmt.

Bei der Direktbeobachtung entfallen Zeit- und Kostenaufwendungen für die Auswahl, Anschaffung und Wartung von geeigneten Foto- und/oder Videokameras samt Zubehör. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass Kontextinformationen genau erfasst werden können (Martin und Bateson, 2007). Nachteilig ist, dass der Beobachter während der Datenaufnahme durchgängig anwesend sein muss. Die Direktbeobachtung des Futteraufnahmeverhaltens von 41 bzw. 51 Individuen beinhaltet, selbst bei hoher Intra-Observer-Reliabilität, eine unvermeidbare potentielle Abweichung, da die Protokollierung der futteraufnehmenden Tiere zwangsläufig sukzessiv erfolgt (Scan Sampling sensu: Lehner, 1996; Martin und Bateson, 2007).

Nachteilig ist weiterhin, dass mittels Direktbeobachtung meist nur wenige Verhaltensaspekte gleichzeitig erfasst werden können, denn die Wahrscheinlichkeit, wichtige Verhaltensweisen zu übersehen, steigt mit der Anzahl an Aspekten, die der Beobachter wahrnehmen muss.

Beim Einsatz von Fotografien stellt der geringe Datenerfassungsaufwand den größten Vorteil dar, vor allem wenn eine automatische Intervallaufnahme-Funktion der Kamera(s) die Abwesenheit des Beobachters ermöglicht. Dann beschränkt sich der Aufwand auf Aufbau und Einrichtung der Kamera(s) sowie die Ausstattung mit hinreichend großen Speichermedien und das Sicherstellen der Stromversorgung. Die manuelle oder automatische Anfertigung der Fotografien entscheidet darüber, ob die einzelnen Momentaufnahmen jeweils sukzessiv oder zeitlich synchron entstehen. Die größte Fehlerquelle, trotz moderner Fototechnik, können unscharfe oder den wechselnden Lichtverhältnissen nicht angepasste Fotografien sein, die eine Auswertung erschweren oder unmöglich machen. Nachteilig ist zudem, dass auf einer Fotografie – wie auf allen reinen Momentaufnahmen – mitunter wichtige Kontextinformationen fehlen oder Tiere verdeckt sind. Nur solche Verhaltensweisen, die aus der Körperhaltung des Tieres eindeutig hervorgehen, können den Momentaufnahmen entnommen werden. Verhaltensweisen hingegen, die nur unter Einbeziehung seiner Bewegung eindeutig identifizierbar sind, werden möglicherweise fehlinterpretiert oder gar nicht erfasst.

Üblicher als Fotografien finden in der Literatur Zeitraffervideoaufnahmen Anwendung. Aufnahmen mit niedriger Geschwindigkeit (Tabelle 2; dort Intervalle von 20 Sekunden und 1 Minute) entsprechen in ihren „technischen Bildeigenschaften“ weitgehend Fotografien, hochfrequente Zeitrafferaufnahmen (Tabelle 2, dort 1 Bild und 5,56 Bilder pro Sekunde) ähneln Normalzeitvideoaufzeichnungen (vergleiche zum Beispiel Vansdadiya und Kothari (2014): 25 Bilder/Sekunde).

Eine Videokamera, die kontinuierlich (oder im hochfrequenten Zeitraffer) aufzeichnet, verbraucht deutlich mehr Strom als eine Fotokamera (oder niederfrequente Zeitrafferaufnahme), sodass vor allem im Freiland die Stromversorgung technisch aufwendig sein kann. Bei einer kontinuierlichen Datenauswertung ist der Auswertungsaufwand im Vergleich zu Direktbeobachtungsdaten und Fotografien (sowie niederfrequenten Zeitrafferaufnahmen) um ein Vielfaches höher (zum Beispiel Martin und Bateson, 2007). Allerdings erlaubt die Verwendung von kontinuierlich (oder hochfrequent) angefertigten Videoaufzeichnungen durch Vor- und Zurückspulen das Erschließen des zeitlichen Kontextes sowie die sichere und synchrone Identifikation (im Idealfall) aller Tiere inklusive ihres Verhaltens.

Die Auswertung instantaner Videostandbilder ist mit der von Fotografien vergleichbar und das Komplementieren uneindeutiger Videostandbilder durch Vor- und Zurückspulen bietet einen Mittelweg. Videoaufzeichnungen lassen nachträglich verschiedene Auswertungsmethoden zu, sodass dasselbe Video, je nach Fragestellung, zum Beispiel in unterschiedlichen Intervallen ausgewertet werden kann. Sofern das Verhalten in der Körperhaltung oder -bewegung gut abgebildet wird, ist eine große Anzahl an

unterschiedlichen Verhaltensaspekten erfassbar. Die Entwicklung der Videotechnik ist in den vergangenen Jahren stark vorangeschritten, sodass die Bildqualität früherer und heutiger Videos kaum noch vergleichbar ist und inzwischen sogar 3D-Kameras erhältlich sind. Eine mögliche Fehlerquelle für dennoch schlechte Bildqualitäten kann die Verwendung ungeeigneter Videokameras sein: Je nach Lichtstärke und -empfindlichkeit sind gegebenenfalls Schwarz/Weiß-Kameras Farbkameras überlegen.

Ein gemeinsamer Vorteil von Fotografien und Videoaufnahmen liegt darin, dass sie dokumentenecht und für Kontrollsichtungen sowie spätere Auswertungen archivierbar sind (Naguib, 2006). Bei der Direktbeobachtung hingegen ist die Zuverlässigkeit der protokollierten Daten im Nachgang nicht mehr überprüfbar.

Keine der drei visuellen Methoden zeichnet sich durch systemimmanente qualitative Vorteile oder finanzielle und/oder arbeitsaufwandsbezogene Kostengünstigkeit in allen Bereichen aus. Daher hängt die Identifikation der geeignetsten visuellen Erfassungsmethode letztendlich von der Reliabilität (= Zuverlässigkeit = Übereinstimmung des erfassten mit dem tatsächlichen Verhalten) ab. Diese wird nachfolgend durch simultane Anwendung aller drei Methoden ermittelt, wobei die Videoaufzeichnungen im Anschluss an die Datenerfassung sowohl ohne als auch mit Komplementierung durch Vor- und Zurückspulen ausgewertet werden (Kapitel 3.3).

2.3 Zeitintervalle bei visuellen Momentaufnahmen

Zur visuellen Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens von Wiederkäuern mittels Instantaneous-Time-Sampling werden in der Literatur Zeitintervalle im Sekundenbereich sowie zwischen 1 und 120 Minuten verwendet (Tabelle 2).

Tabelle 2: Längen von Sampling-Intervallen ausgewählter Studien, die das Futteraufnahmeverhalten von Wiederkäuern mittels zeitgerasterter visueller Methoden erfassten. Die Übersicht enthält sowohl Methodenstudien (= M) als auch reine Anwendungsstudien (= A). Oft erfolgte die Untersuchung an mehreren kleineren Gruppen, mitunter auch an einzeln untergebrachten oder einzeln beobachteten Tieren. Videoaufnahmen in Normalzeit: 25 Bilder/Sekunde.

Sampling-Intervall	Exemplarische Studien	Verhalten (und Ort)	Tiere und Anzahlen: n = Gesamtzahl (Gruppenanzahl x -größe)
Direktbeobachtungen			
2 Minuten (+ Videoaufnahmen, siehe dort)	Tosi et al., 2006 (M)	Fressen, Kauen, Lecken, exploratives Verhalten (Stall)	Rinder: n = 54 (24 x 1 + 6 x 5)
5 Minuten	Kronberg und Malechek, 1997 (A)	Wiederkäuen, Futtersuche, Gehen, soziale Interaktionen (Weide)	Ziegen, Schafe: n = 10 pro Spezies

Fortsetzung Tabelle 2			
5 Minuten	Cozzi und Gottardo, 2005 (A)	Futteraufnahme, Wiederkäuen, Liegen (Stall)	Rinder: n = 20 (4 x 5)
5 Minuten	Safari et al., 2011 (A)	Grasen, Stehen und Wiederkäuen, Liegen und Wiederkäuen, Gehen, Ruhen, Kratzen/Fellpflege, Spielen (Weide)	Ziegen: n = 16
15 Minuten	Celaya et al., 2007 (A)	Grasen (Weide)	Ziegen, Schafe: n = 40 pro Spezies; Rinder: n = 7
15 Minuten	Sanon et al., 2007 (A)	Grasen, Wiederkäuen, Futtersuche, Trinken, Gehen, Liegen (Weide)	Ziegen: n = 30; Schafe: n = 25; Rinder: n = 75 (jeweils Einzeltierbeobachtung)
Fotografien und niederfrequente Zeitraffervideoaufnahmen			
20 Sekunden (Zeitraffer)	Vasilatos und Wangsness, 1980 (A)	Futteraufnahme (Stall)	Rinder: n = 5
1 Minute (Zeitraffer)	Friend und Polan, 1974 (A)	Futteraufnahme (Stall)	Rinder: n = 21
7 und 10 Minuten (verschiedene Jahre, ohne Intervallvergleich) (automatische Fotografien)	Prache und Damasceno, 2006 (A)	Grasen (Weide)	Schafe: n = 20 (2 x 6 + 1 x 8)
Videoaufzeichnungen in Normalzeit und hochfrequente Zeitraffervideoaufnahmen (jeweils kontinuierliche Aufnahmen mit instantaner Auswertung im Nachgang)			
1, 5, 10, 15, 30, 60 Minuten (im Vergleich mit kontinuierlicher Auswertung: 1-15 Minuten geeignet) (Normalzeit)	Mitlöhner et al., 2001 (M)	Fressen, Trinken, Gehen, Stehen, Liegen (Stall)	Rinder: n = 24 (12 x 2)
2 Minuten (+ Vergleich mit Drucksensor) (Normalzeit)	Desnoyers et al., 2009 (M)	Ingestion, Kauen, Wiederkäuen (Stall)	Ziegen: n = 12 (12 x 1)
2 Minuten (Auswertung) (Zeitraffer: circa 5,56 Bilder/Sekunde) (+ Direktbeobachtung, siehe dort)	Tosi et al., 2006 (M)	Fressen, Kauen, Lecken, exploratives Verhalten (Stall)	Rinder: n = 54 (24 x 1 + 6 x 5)
5 Minuten (Normalzeit)	Lexer et al., 2004 (A)	Fressen, Liegen, Sonstiges (Stall)	Rinder: n = 60 (2 x 30)
10 Minuten (Normalzeit)	Jørgensen et al., 2007 (A)	Futteraufnahme (Stall)	Ziegen: n = 48 (8 x 6)
20, 30, 60, 120 Minuten (im Vergleich mit 10 Minuten: 10-60 Minuten geeignet) (Normalzeit)	Mattachini et al., 2011 (M)	Fressen, Trinken, Stehen, Liegen (Stall)	Rinder: n = 69

Die Mehrzahl der Studien verwendeten Intervalllängen zwischen 5 und 15 Minuten (Tabelle 2). Der Fokus der in der vorliegenden Studie untersuchten Intervalllängen liegt im kürzeren Bereich und bezieht Abstände von 1 bis 12 Minuten ein.

3 Tiere, Material und Methoden

3.1 Untersuchungsherde und Verhaltenskategorien

Die Datenerhebung fand im April und Juni 2013 auf dem Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau in Trenthorst (Schleswig-Holstein) statt. Die Untersuchungsherde bestand aus behornten, adulten Milchziegen (*Capra hircus*) der Rasse „Bunte Deutsche Edelziege“ und wurde unter Bedingungen der EU-Öko-Verordnung Nr. 834/2007 gehalten. Die Tiere wurden vor Ort aufgezogen und waren in der Zeitspanne der Datenerhebung zwischen 2 und 7 Jahre alt.

Witterungsbedingt verbrachten die Ziegen bis einschließlich April den gesamten Tag im Stall und angrenzenden Auslauf. Im Juni waren sie täglich knapp 8 Stunden (zwischen circa 08:00 und 15:30) auf der Weide und anschließend inklusive der Nacht im Stall. Durch die zeitliche Trennung der Erhebung von Stall- und Weidedaten konnte die Datenerfassung an beiden Orten zu übereinstimmenden Tageszeiten stattfinden.

In der rund zweimonatigen Zwischenzeit wurde die Herdengröße um zehn Tiere reduziert, sodass diese während der Untersuchung im Stall aus 51 Tieren und während der auf der Weide aus 41 Mitgliedern bestand. Zur sicheren individuellen Identifikation wurden im Vorfeld der Studie alle Ziegen beidseitig lateral mit, in ihr Fell gebleichten, ein- bis zweistelligen Nummern (Größe: circa eine DIN A4-Seite pro Ziffer) gekennzeichnet.

Der Ziegenherde stand ein Tiefstreulaufstall (circa 8,4 m² pro Ziege; Abbildung 1) mit angrenzendem, betonierten Auslauf (circa 2,9 m² pro Ziege) zur Verfügung.

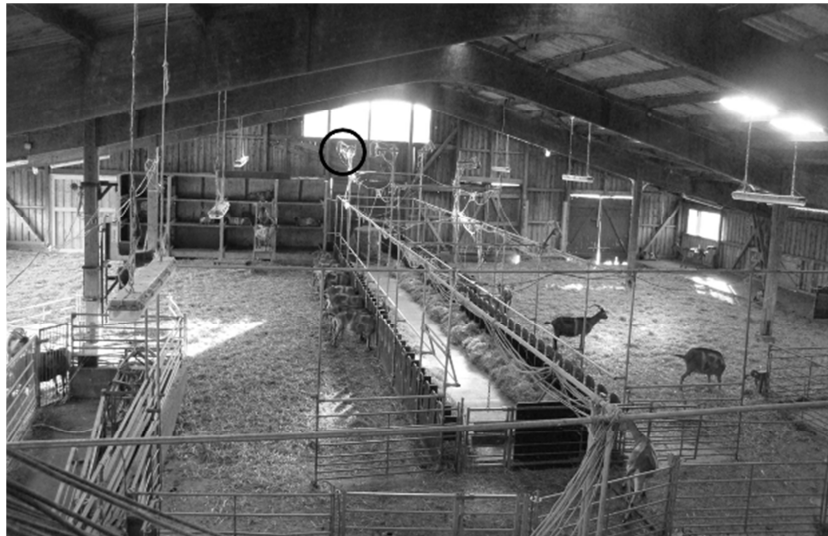


Abbildung 1: Innenansicht des Tiefstreulaufstalls. Futtertisch mit Palisadenfressgitter mittig im Bild; schwarz eingekreist = eine der vier Schwarz/Weiß-Videokameras über dem Futtertisch. (Foto: Laura Schneider)

Das Tier-Fressplatz-Verhältnis betrug rund zwei Fressplätze pro Tier. Um den Ziegen eine Selektion der besten Futterteile zu ermöglichen, lag das Heu auf dem Futtertisch immer „im Überfluss“ vor und wurde spätestens bei 50 % ausselektierten Futterresten frisch vorgelegt. Der Futtertisch bestand aus einem rechteckigen, ebenerdigen Beton-Plateau in der Mitte des Laufstalls (Abbildung 1). Zu beiden Seiten verlief ein Palisadenfressgitter aus Holz mit Sichtblenden. Krafffutter (Weizenschrot-Pellets) wurde zweimal am Tag im Melkstand (um circa 06:00 und 16:00) gefüttert, wo die Tiere während des Melkens kurzzeitig fixiert waren.

Die Aufnahme von Heu und Grünfutter sowie die Kategorien des Futteraufnahmestatus wurden wie folgt definiert:

- Heufressen (Stall): Eine Ziege steht am Futtertisch, ihr Kopf ist innerhalb eines Futterplatzes abgesenkt, sodass der Lippen-Nasen-Bereich das Heu berührt. Die Ziege nimmt Heu vom Futtertisch auf und zerkaut dieses.
- Grasen (Weide): Eine Ziege nimmt im Stehen oder schrittweisen Gehen Grünfutter auf und zerkaut dieses. Dabei ist der Kopf nach unten abgesenkt und der Lippen-Nasen-Bereich berührt die Weideoberfläche.
- Futteraufnahme: Für eine Ziege wurde zum Datenaufnahmezeitpunkt ein Verhalten erfasst, das der Definition von Heufressen oder Grasen entspricht.
- keine Futteraufnahme: Für eine Ziege wurde zum Datenaufnahmezeitpunkt ein Verhalten erfasst, das nicht der Definition von Heufressen oder Grasen entspricht.

3.2 Aufnahme und Auszählung der Verhaltensdaten

Für die Methodenvergleiche wurde das Futteraufnahmeverhalten über insgesamt 6 Stunden (jeweils 3 Stunden im Stall und auf der Weide) mit allen drei visuellen Methoden (Direktbeobachtung, Fotografien, Videoaufzeichnungen) simultan erfasst. Die Datenaufnahmen wurden zwischen den beiden Melkzeiten (von circa 08:00 bis 15:30) über den Tag verteilt und sind im Stall und auf der Weide miteinander vergleichbar.

Es wurden immer dieselbe Person als Direktbeobachter und eine weitere Person zur Bedienung der digitalen Fotokamera (Canon® PowerShot G12; 6,1-30,5 mm Brennweite, CCD-Sensor) eingesetzt. Im Stall erfolgten Direktbeobachtung und Fotoaufnahmen von zwei Leitern (Höhe circa 1,5-2,0 m) direkt vor dem Futtertisch aus, auf der Weide aus einem mobilen, überdachten Hochsitz (Höhe circa 2,0-3,0 m) am Rand des Weidestücks heraus. Direktbeobachter und Fotograf waren sowohl im Stall als auch auf der Weide eng benachbart und zwischen den Videokameras positioniert.

Die Videoaufnahmen entstanden vollautomatisch: Im Stall wurden jeweils zwei digitale, lichtempfindliche Schwarz/Weiß-Videokameras (Panasonic® WV-BP109; 2,8 mm Brennweite, 30 Bilder/Sekunde, CCD-Sensor) an den Metallkonstruktionen über den beiden Futtertischlängsseiten montiert (Abbildung 1), sodass alle Bereiche des Tisches mindestens von einer Kamera erfasst wurden. Für den Einsatz auf der Weide erwiesen sich die Schwarz/Weiß-Videokameras als zu lichtempfindlich. Stattdessen wurden zwei digitale Full HD-Farb-Videokameras (Panasonic® HX-WA30; 4,0-20,0 mm Brennweite, 60 Bilder/Sekunde, MOS-Sensor) auf mobilen Dreibein-Stativen (Abbildung 2) so aufgestellt, dass sie etwaige tote Winkel wechselseitig abdeckten.



Abbildung 2: Mobiles Dreibein-Stativ mit aufgeschraubter Farb-Videokamera (siehe Vergrößerung) neben der Ziegenweide. Weiße Schutzhütte am linken Bildrand. (Foto: Sybille Schaefer)

Unmittelbar vor Beginn den Datenaufnahmen wurde ein frisches Weidestück in der Größe entsprechend des konstanten Weitwinkelbereichs der Videokameras angepasst. Um eine durchgängige (mobile) Stromversorgung über 8 Stunden zu gewährleisten, wurden die beiden Kameras jeweils über eine separate Autobatterie gespeist.

Die Videoaufzeichnungen liefen kontinuierlich (Continuous Recording). Direktbeobachtung sowie Fotoaufnahmen erfolgten zeitlich gerastert (Time Sampling) und pro Datenaufnahmezeitpunkt jeweils zeitlich sukzessiv (Scan-Sampling) (Altmann, 1974; Lehner, 1996; Martin und Bateson, 2007). Alle 3 Minuten notierte der Direktbeobachter in einem Protokollbogen die Identitäten aller Ziegen, die zu diesem Zeitpunkt Futter aufnahmen. Das Beobachtungsareal wurde immer in derselben Reihenfolge und Geschwindigkeit mit den Augen auf futteraufnehmende Ziegen hin abgesucht. Die Fotoaufnahmen wurden manuell im 3-Minuten-Takt ausgeführt. Da es trotz der erhöhten Aufnahmeposition aufgrund der Größe des Bildausschnitts notwendig war, pro „Sample Point“ mehrere Fotografien anzufertigen (in der Regel vier), fotografierte der Beobachter die Teile des Beobachtungsareals mit Überlappungen und immer in derselben Reihenfolge und Geschwindigkeit. Anschließend wurden die Fotografien am Bildschirm gesichtet und die Identitäten der zum betreffenden Zeitpunkt futteraufnehmenden Tiere notiert.

Die kontinuierlichen Videoaufnahmen wurden mittels Standbildfunktion im 3-Minuten-Takt in diskrete Einheiten zerlegt. Die Auswertung dieser instantanen Standbilder erfolgte auf dieselbe Weise wie die der Fotografien.

3.3 Referenzstandards der Methoden- und Intervalllängenvergleiche

Bei sämtlichen Berechnungen wurden die im Stall und auf der Weide (Heu- und Grünfutteraufnahmeverhalten) aufgenommenen Datensätze getrennt voneinander ausgewertet. Die Auswertung erfolgte durchgängig mit dem Statistikprogramm „R“ (Version 3.0.3).

Im Zuge der Auszählung der individualspezifisch erhobenen Daten (Stall: $t = 3060$, Weide: $t = 2460$ Datenpunkte) wurden für jedes Tier nur die Zeitpunkte, zu denen es eindeutig als Futteraufnehmend erfasst worden war, über die Gesamtbeobachtungszeit summiert. Dieser Häufigkeitswert repräsentiert die Zeitmenge, die das betreffende Tier mit Futteraufnahme verbrachte. Zeitpunkte, zu denen ein Tier oder sein Futteraufnahmezustand mit der entsprechenden Methode nicht eindeutig identifiziert werden konnte, wurden nicht mitgezählt.

Als Referenzstandards für den Methoden- und Intervallvergleich diente jeweils ein vollständiger Vergleichsdatensatz. Hierfür wurden die Videostandbilder unter Nutzung der Vor- und Rückspulmöglichkeiten ausgezählt. So konnten die Identitäten aller Herdenmitglieder und ihr jeweiliger Futteraufnahmezustand zu jedem Zeitpunkt eindeutig ermittelt werden. Das Raufutteraufnahmeverhalten bei Ziegen findet in der Regel in zeitlich relativ langen, ununterbrochenen Einheiten statt. Da diese zeitliche Struktur der eines Verhaltenszustands (behavioural state; Altmann, 1974) entspricht, konnte bei beiden Vergleichen auf eine vollständig-kontinuierliche Videosichtung und -auswertung verzichtet werden.

Für die Reliabilitätsprüfung der drei visuellen Methoden erfolgte die Auszählung im 3-Minuten-Intervall (= Methodenvergleichsstandard). Bei der Direktbeobachtung als der zeitintensivsten Aufnahmemethode stellten 3 Minuten – unter den gegebenen äußeren Bedingungen dieser Untersuchung – den kleinstmöglichen praktikablen Zeitabstand dar.

(Bei Intervallauern von weniger als 3 Minuten hätte bei den Direktbeobachtungen die Unabhängigkeit der Datensätze aufeinanderfolgender Datenaufnahmezeitpunkte nicht gewährleistet werden können und es wären Qualitätseinbußen bei den erhobenen Daten aufgetreten, die jedoch nichts mit den zu testenden methodenimmanenten Eigenschaften zu tun gehabt hätten.) Die mit den drei Methoden erhaltenen Datensätze wurden

anschließend durch paarweisen Vergleich mit dem Methodenvergleichsstandard auf ihre Reliabilität hin überprüft (Engel, 1996; Martin und Bateson, 2007).

Fotografien und Videoaufnahmen ermöglichen gegenüber der Direktbeobachtung eine höhere zeitliche Taktung. Während bei der Direktbeobachtung das Verhalten manuell, direkt und fragestellungsspezifisch festgehalten wird, entkoppeln die beiden (semi-)automatischen visuellen Methoden die reine Aufzeichnung des Verhaltens von den zeitaufwendigen Schritten der fragestellungsspezifischen Auswertung (wie das Auffinden der Individuen, die Identifikationen von Tier und Verhaltensstatus und so weiter). Durch die Möglichkeit einer wiederholten und beliebig langen Sichtung ließ sich das Zeitintervall für die Reliabilitätsprüfungen der Intervalllängen daher weiter verringern. Für die Verwendung als Intervalllängenvergleichsstandard wurde der Video-Datensatz im 1-Minuten-Takt ausgewertet.

Aus diesem Datensatz wurden die Alternativintervall-Datensätze generiert, die einer Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens mittels Intervalllängen von 3, 5, 8 und 12 Minuten entsprechen. Für jedes dieser Zeitraster wurden die individuellen Futteraufnahmehäufigkeiten ermittelt und (der Vergleichbarkeit halber) auf 180 Datenpunkte pro Tier (Anzahl Datenzeitpunkte des im 1-Minuten-Takt erhobenen Referenzdatensatzes) extrapoliert.

3.4 Reliabilitätsprüfungen: Diagrammtypen und Kennwerte

Inferenzstatistische Tests wie Korrelationen, Regressionen und Mittelwertvergleiche, die bei Methodenvergleichen zum Quantifizieren des Übereinstimmungsausmaßes mitunter Anwendung finden, sind mathematisch-methodisch hierfür lediglich eingeschränkt geeignet; eine fundierte, umfassende Darstellung der Vorbehalte ist vor allem den Arbeiten von Altman und Bland (1983), Bland und Altman (1986, 1999 und 2003) und Grouven et al. (2007) zu entnehmen. In der vorliegenden Studie erfolgten die Reliabilitätsprüfungen, sowohl beim Methoden- als auch beim Intervalllängenvergleich, daher mittels einer Kombination dreier deskriptiv-statistischer Methoden und eines zusätzlichen numerischen Akzeptanzkriteriums: Kasten- und Bland-Altman-Diagramme visualisieren das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen dem Vergleichsstandard und der jeweiligen Alternativmethode (Bland und Altman, 1986; Hoff, 2005). Während mit Kastendiagrammen die Gesamtverteilungen der zu vergleichenden Daten charakterisiert werden (Tukey, 1977), stellen Bland-Altman-Diagramme direkt die Verteilungen der jeweiligen Differenzen dar. Die Berechnung des in der vorliegenden Studie vorgestellten Medians der prozentualen Abweichungen quantifiziert das Ausmaß der paarweisen Übereinstimmungen mit dem jeweiligen Vergleichsstandard durch eine Kennzahl.

In den Bland-Altman-Diagrammen (Abbildungen 4 und 5 sowie 7 und 8) repräsentiert die durchgezogene horizontale Linie den Mittelwert der Differenzen. Je weiter sie von null entfernt ist, desto stärker über- beziehungsweise unterschätzt eine Methode die andere. (Ob die mittlere Differenz im positiven oder negativen Y-Achsenbereich liegt, ist von der Richtung der Differenzbildung abhängig; in der vorliegenden Studie wird der Methodenvergleichsstandard von der Alternativmethode unterschätzt, wenn der Mittelwert der Differenzen über null liegt). Die gestrichelten horizontalen Linien stellen die Übereinstimmungsgrenzen dar; sie repräsentieren die 1,96-fache Standardabweichung der mittleren Differenz und quantifizieren die Streuung der Werte um diesen Mittelwert (1,96 entspricht dem 97,5 %-Quantil der Normalverteilung; vergleiche zum Beispiel Grouven et al., 2007). Je näher die Einzelwerte an der Linie der mittleren Differenz liegen, und je enger somit die Übereinstimmungsgrenzen sind, desto ähnlicher sind sich die Methoden bezüglich ihrer Messsystematik. Im Idealfall, das heißt bei einer vollständigen Übereinstimmung der mit den beiden unterschiedlichen Methoden ermittelten Werte, liegen die mittlere Differenz und die Übereinstimmungsgrenzen bei null.

Da die mittleren Differenzen und Übereinstimmungsgrenzen anhand der Bland-Altman-Diagramme nur grob abgelesen werden können, wurden diese Kennwerte (auf zwei Nachkommastellen gerundet) zusätzlich separat berechnet (Tabellen 3 und 4).

Bei Bland-Altman-Berechnungen werden die Vorzeichen der Differenzen der zwei jeweils korrespondierenden Einzelwerte beibehalten, sodass sich negative und positive Werte in der Summe gegenseitig aufheben können. Um die „wahre“ Abweichung deutlicher herauszustellen, wurde zusätzlich der Median der prozentualen Abweichungen als Grenzkriterium neu eingeführt. Hierzu wurden zunächst jeweils die individuellen prozentualen Abweichungen zwischen dem Vergleichsstandard (= 100 %) und der jeweiligen Alternativmethode berechnet. Aus den Beträgen dieser individuellen Abweichungen wurde anschließend für jede Alternativmethode der Median der prozentualen Abweichungen gebildet (Tabellen 3 und 4). Eine hinreichende Reliabilität wurde angenommen, wenn der Median der prozentualen Abweichungen vom Vergleichsstandard maximal 10 % betrug (vergleiche Martin und Bateson, 2007).

4 Ergebnisse

4.1 Leistungsstärken der visuellen Methoden

Der Median des Methodenvergleichsstandards ist auf der Weide 3,50 Mal so hoch wie im Stall (Abbildung 3: 42 versus 12 Zeitpunkte mit Futteraufnahmeverhalten von jeweils insgesamt 60).

Alle drei Alternativmethoden (Direktbeobachtung, Fotografien und Videostandbilder) unterschätzen sowohl bei den im Stall als auch auf der Weide erhobenen Daten die tatsächlichen Futteraufnahmehäufigkeiten.

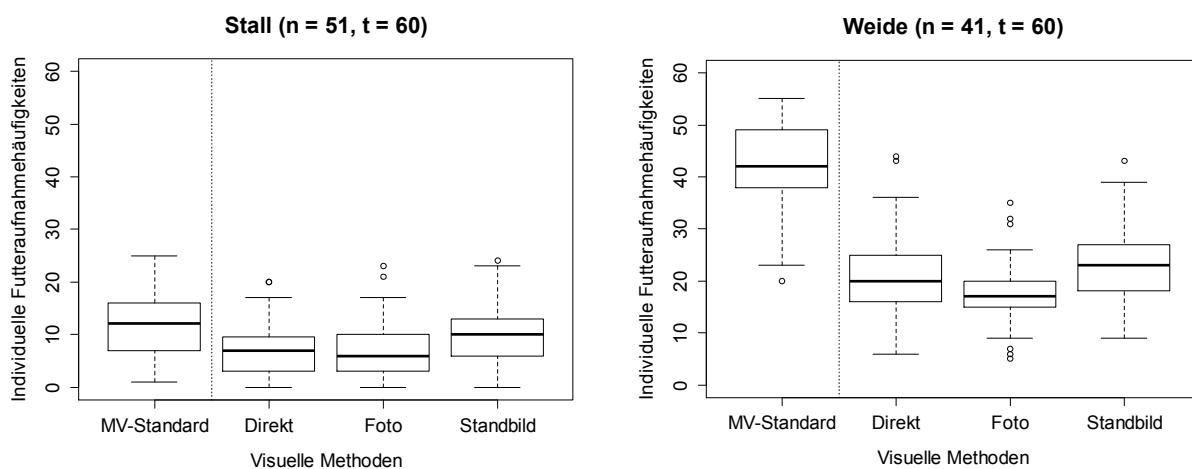


Abbildung 3: Gesamt-Methodenvergleich anhand von Stall- und Weidedaten. n = Anzahl Herdenmitglieder, t = Anzahl Sampling-Zeitpunkte; X-Achse = visuelle Methoden zur Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens (Heu, Gras): „MV-Standard“ = Methodenvergleichsstandard = Videoauswertungen mit Vor- und Zurückspulen, „Direkt“ = Direktbeobachtung, „Foto“ = Fotografien, „Standbild“ = Videostandbilder ohne Vor- und Zurückspulen; vertikale gestrichelte Linie = optische Trennung des Standards von den Alternativmethoden; Y-Achse = individuelle Futteraufnahmehäufigkeiten innerhalb von 3 Stunden Datenerfassung im 3-Minuten-Intervall.

Bei den Weidedaten weichen die Werte der drei Alternativmethoden sowohl hinsichtlich der Lage des Medians als auch der Höhe des Interquartilsabstands stärker von denen des Methodenvergleichsstandards ab als bei den Stalldaten. Bei beiden kommt das Videostandbild dem Standard am nächsten, gefolgt von der Direktbeobachtung und den Fotografien; bei den Stalldaten liegen die Werte der Direktbeobachtung und der Fotografien ungefähr gleich weit unter denen des Videostandbildes. Bei den Weidedaten hingegen liegen die Werte der Fotografien nochmals niedriger als die der Direktbeobachtung und unterschätzen den Methodenvergleichsstandard somit am stärksten.

Dass bei den Stalldaten die Alternativmethoden den Referenzdatensatz lediglich etwas unterschätzen, wird in den Bland-Altman-Diagrammen deutlich (Abbildung 4): Die mittlere Differenz liegt stets im positiven Bereich (Differenzbildung: Methodenvergleichsstandard

minus Alternativmethode), die untere Übereinstimmungsgrenze aber bleibt im negativen Bereich. Auch die Überlegenheit der Videostandbilder gegenüber den anderen beiden Alternativmethoden wird hier besonders deutlich: Die mittlere Differenz und die Breite der Übereinstimmungsgrenzen sind bei den Videostandbildern nur circa halb so hoch wie bei Direktbeobachtung und Fotografien (Tabelle 3).

Stall (n = 51, t = 60)

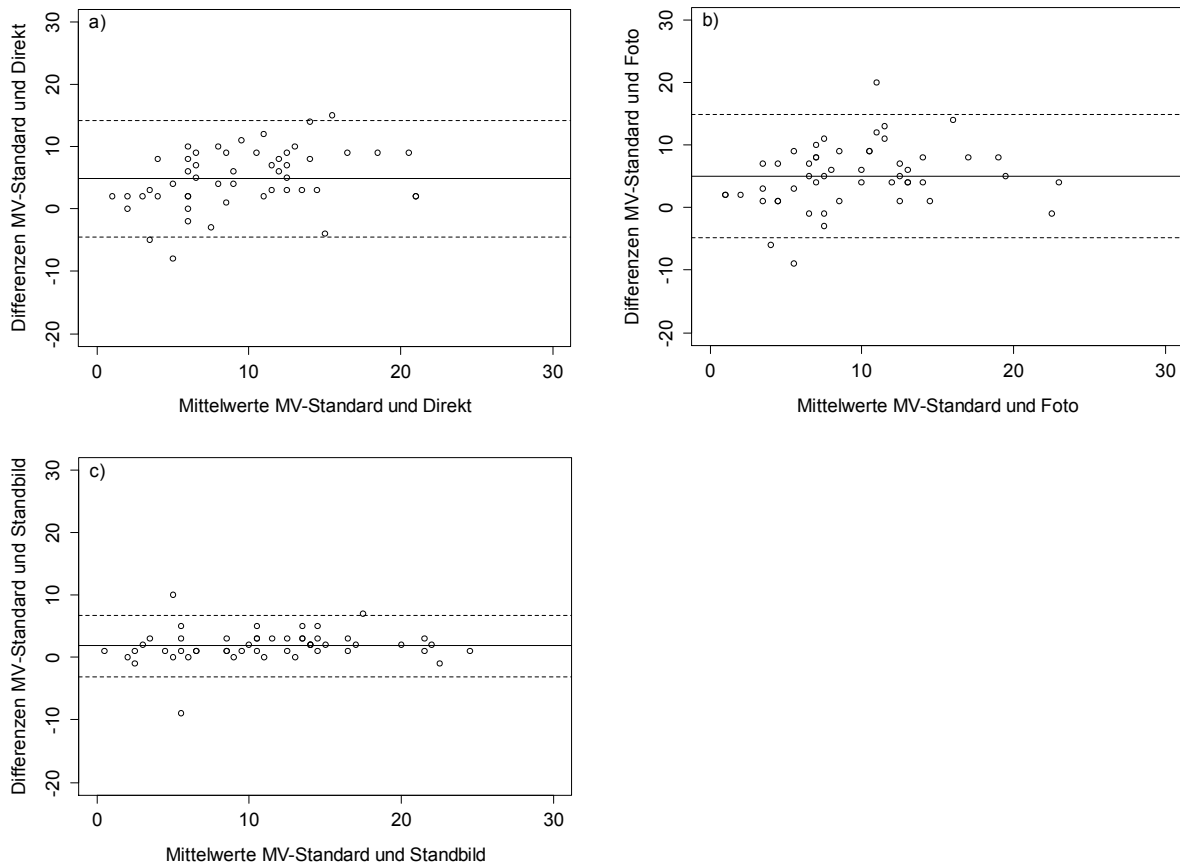


Abbildung 4: Paarweise Methodenvergleiche anhand der Stalldaten (Heuaufnahme). n = Anzahl Herdenmitglieder, t = Anzahl Sampling-Zeitpunkte; „MV-Standard“ = Methodenvergleichsstandard = Videoauswertungen mit Vor- und Zurückspulen, „Direkt“ = Direktbeobachtung, „Foto“ = Fotografien, „Standbild“ = Videostandbilder ohne Vor- und Zurückspulen; X-Achse = Mittelwerte von MV-Standard und Alternativmethode; Y-Achse = Differenzen MV-Standard minus Alternativmethode; durchgezogene horizontale Linie = Mittelwert der Differenzen, gestrichelte horizontale Linien = Übereinstimmungsgrenzen (= Mittelwert der Differenzen $\pm 1,96 \times$ Standard-abweichung der Differenzen).

Die Kennwerte der Direktbeobachtung zeigen im Vergleich mit dem Methodenvergleichsstandard eine minimal höhere Reliabilität als die der Fotografien. Betrachtet man die Mediane der prozentualen Abweichungen (Tabelle 3), so kann jedoch selbst für die Videostandbilder (circa 14 %) keine hinreichende Übereinstimmung mit dem Methodenvergleichsstandard angenommen werden. Die Kennwerte von Direktbeobachtung

und Fotografien (jeweils 50 %) betragen das Fünffache des Grenzwerts; diese beiden Methoden sind somit vollständig ungeeignet.

Tabelle 3: Kennwerte der Methodenvergleiche anhand von Stall- und Weidedaten (Bland-Altman-Werte und Mediane der prozentualen Abweichungen). Methoden: „Direkt“ = Direktbeobachtung, „Foto“ = Fotografien, „Standbild“ = Videostandbilder ohne Vor- und Zurückspulen; mittlere Differenz = Mittelwert der Differenzen; Übereinstimmungsgrenzen = Mittelwert der Differenzen $\pm 1,96 \times$ Standardabweichung der Differenzen; Median der prozentualen Abweichungen = Mittel der individuellen Abweichungsbeträge; eine hinreichende Reliabilität wird bei einem Wert von maximal 10 % angenommen.

Stall (Heuaufnahme)			
Methode	Direkt	Foto	Standbild
Mittlere Differenz	4,90	5,06	1,86
Lage der Übereinstimmungsgrenzen	-4,44 und 14,25	-4,82 und 14,94	-3,05 und 6,77
Breite der Übereinstimmungsgrenzen	18,69	19,76	9,82
Median der prozentualen Abweichungen	50,00	50,00	14,29
Weide (Grünfutteraufnahme)			
Methode	Direkt	Foto	Standbild
Mittlere Differenz	20,17	23,95	18,70
Lage der Übereinstimmungsgrenzen	4,65 und 35,69	10,02 und 37,89	5,32 und 32,10
Breite der Übereinstimmungsgrenzen	31,04	27,87	26,78
Median der prozentualen Abweichungen	52,00	58,97	42,22

Auch bei den Weidedaten liegt die mittlere Differenz stets über null (Abbildung 5, Tabelle 3), das Ausmaß der Unterschätzung durch die Alternativmethoden ist hier jedoch so groß, dass auch die unteren Übereinstimmungsgrenzen im positiven Wertebereich liegen. Anders als bei der Heuaufnahme im Stall zeigen hier alle drei Vergleiche des Methodenvergleichsstandards mit jeweils einer Alternativmethode ausgesprochen ähnliche Ergebnisse. Das heißt, bei der Grünfutteraufnahme auf der Weide lässt sich für keine der Alternativmethoden eine eindeutige Überlegenheit feststellen. Die Bland-Altman-Kennwerte der Videostandbilder zeigen eine minimal höhere Übereinstimmung mit dem Methodenvergleichsstandard als die der beiden anderen Alternativmethoden. Von den übrigen beiden Alternativmethoden besitzt die Direktbeobachtung die geringfügig kleineren mittleren Differenzen, bei der Breite der Übereinstimmungsgrenzen ist es umgekehrt. Die durchgängig sehr geringen Übereinstimmungstendenzen der Alternativmethoden mit dem Methodenvergleichsstandard sind auch anhand der Mediane der prozentualen Abweichungen erkennbar, die jeweils ein Vielfaches des akzeptablen Maximalwerts betragen (Werte zwischen circa 42 % und 59 %; Tabelle 3).

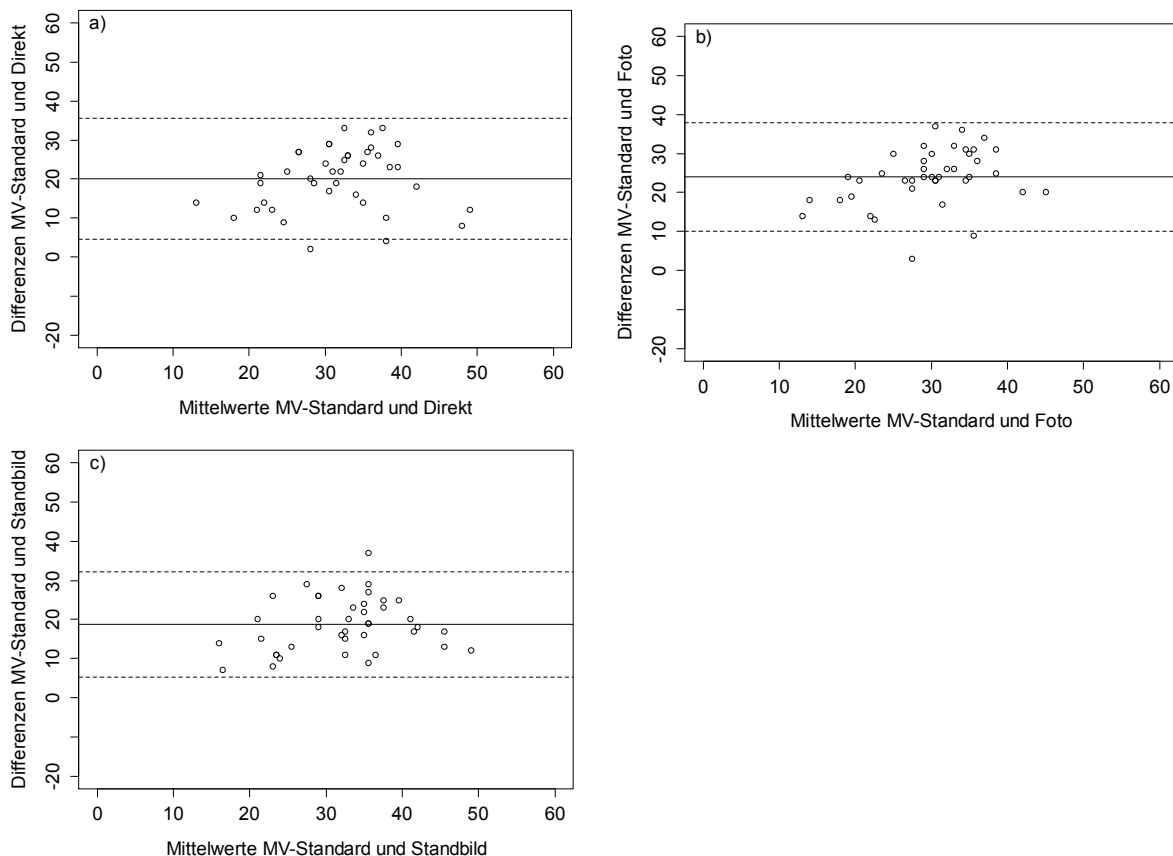
Weide (n = 41, t = 60)

Abbildung 5: Paarweise Methodenvergleiche anhand der Weidedaten (Grünfutteraufnahme). n = Anzahl Herdenmitglieder, t = Anzahl Sampling-Zeitpunkte; „MV-Standard“ = Methodenvergleichsstandard = Videoauswertungen mit Vor- und Zurückspulen, „Direkt“ = Direktbeobachtung, „Foto“ = Fotografien, „Standbild“ = Videostandbilder ohne Vor- und Zurückspulen; X-Achse = Mittelwerte von MV-Standard und Alternativmethode; Y-Achse = Differenzen MV-Standard minus Alternativmethode; durchgezogene horizontale Linie = Mittelwert der Differenzen, gestrichelte horizontale Linien = Übereinstimmungsgrenzen (= Mittelwert der Differenzen $\pm 1,96 \times$ Standardabweichung der Differenzen).

Für die Erfassung des Raufutteraufnahmeverhaltens im Stall und auf der Weide im 3-Minuten-Takt besitzt keine der drei instantanen Methoden, Direktbeobachtung, Fotografien und instantane Videostandbilder, hinsichtlich ihrer Datengenauigkeit eine ausreichende Übereinstimmung mit dem Methodenvergleichsstandard. Eine Datenvervollständigung durch Vor- und Zurückspulen ist demnach unverzichtbar, um Datensätze der erforderlichen Übereinstimmungsgüte zu erhalten. Der mit dem Spulen verbundene Arbeits- und Zeitaufwand verhält sich proportional zur Anzahl der Datenerfassungszeitpunkte und somit antiproportional zur Intervalllänge. Dementsprechend schließt sich als zweiter Schritt der vorliegenden Studie die Suche nach der effizientesten Intervalllänge für die Auszählung von durch Vor- und Zurückspulen komplementierten Videostandbildern an.

4.2 Leistungsstärken der verschiedenen Intervalllängen bei Videoaufzeichnungen

Der Median der individuellen Futteraufnahmehäufigkeiten des Intervalllängenvergleichsstandards (1 Minute) war auf der Weide (mit 104 versus 22) 4,73 Mal so hoch wie im Stall (Abbildung 6).

Anhand des Medians des 1-Minuten-Intervalls wurde auch der relative Anteil des jeweiligen Futteraufnahmeverhaltens am Gesamtverhalten innerhalb der beobachteten Zeit (180 Datenpunkte pro Tier) bestimmt. Er betrug im Stall 12,22 % und auf der Weide 57,78 %.

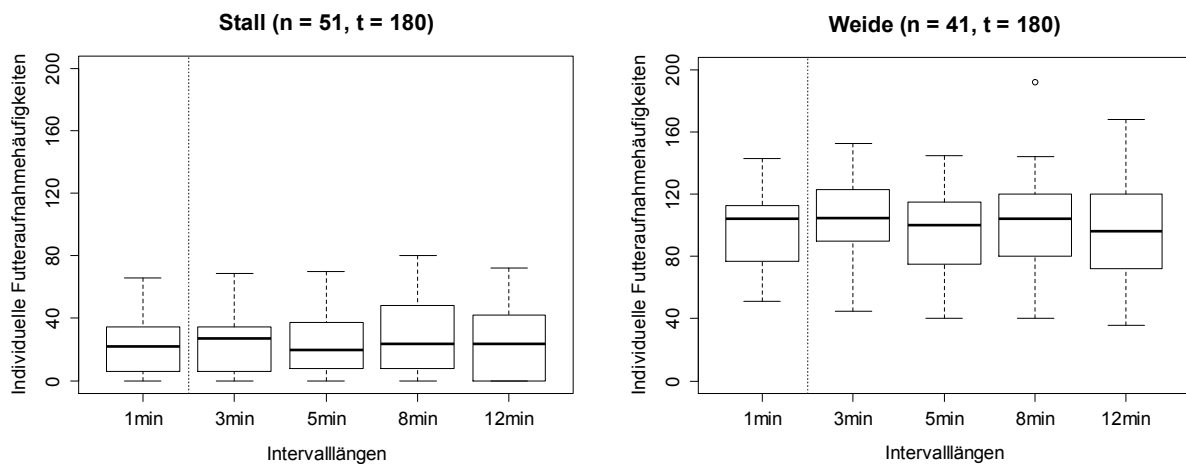


Abbildung 6: Gesamt-Intervalllängenvergleich anhand von Stall- und Weidedaten. n = Anzahl Herdenmitglieder, t = Anzahl Sampling-Zeitpunkte; X-Achse = Intervalllängen zur Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens (Heu, Gras) mittels durch Vor- und Zurückspulen komplementierter Videostandbilder; vertikale gestrichelte Linie = optische Trennung des Standards (= 1 Minute) von den Alternativintervalllängen; Y-Achse = individuelle Futteraufnahmehäufigkeiten innerhalb von 3 Stunden Datenerfassung, jeweils auf 180 Sampling-Zeitpunkte extrapoliert.

Weder bei den Stall- noch den Weidedaten zeichnet sich hinsichtlich der Lage des Medians eine stetige Unter- oder Überschätzung durch die Alternativintervalllängen ab. Der Interquartilsabstand nimmt bei den Alternativintervallen mit ihrer Länge zu. Dies geschieht zum Teil sprunghaft, bei den Stalldaten nach dem 5-Minuten-Intervall, bei den Weidedaten sowohl nach dem 3- als auch nach dem 8-Minuten-Intervall.

Eine differenziertere Beurteilung ermöglichen auch hier die Bland-Altman-Diagramme (Abbildung 7 und 8) und ihre, um den Median der prozentualen Abweichungen ergänzten, Kennwerte (Tabelle 4).

In allen Bland-Altman-Diagrammen der Stalldaten (Abbildung 7) liegt die mittlere Differenz leicht unter null, die obere Übereinstimmungsgrenze aber weit im positiven Wertebereich. Demnach wird der Intervalllängenvergleichsstandard von allen Alternativmethoden etwas

überschätzt (Differenzbildung: Intervalllängenvergleichsstandard minus Alternativintervalllänge).

Stall (n = 51, t = 180)

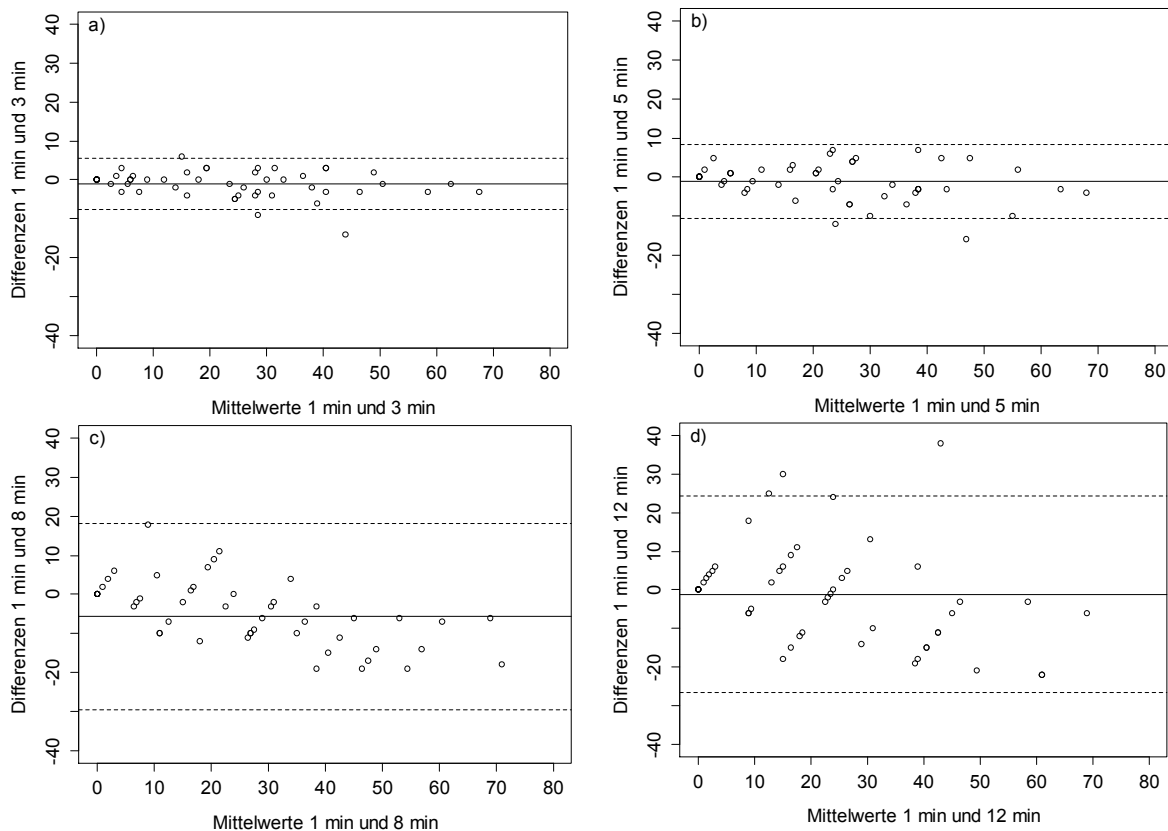


Abbildung 7: Paarweise Intervalllängenvergleiche anhand der Stalldaten (Heuaufnahme). n = Anzahl Herdenmitglieder, t = Anzahl Sampling-Zeitpunkte; X-Achse = Mittelwerte von Intervalllängenvergleichsstandard (1-Minuten-Intervall) und einem der Alternativintervalle (3, 5, 8, 12 Minuten) zur Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens (Heu, Gras) mittels durch Vor- und Zurückspulen komplementierter Videostandbilder; Y-Achse = Differenzen Intervalllängenvergleichsstandard minus Alternativintervall; durchgezogene horizontale Linie = Mittelwert der Differenzen, gestrichelte horizontale Linien = Übereinstimmungsgrenzen (= Mittelwert der Differenzen $\pm 1,96 \times \text{Standardabweichung der Differenzen}$).

Der Abstand zwischen den Übereinstimmungsgrenzen vergrößert sich mit zunehmender Intervalllänge und zeigt einen überproportionalen Anstieg nach dem 5-Minuten-Intervall (Abbildung 7 und Tabelle 4). Zudem ist anhand der Punkteverteilung beim 8- und 12-Minuten-Intervall (Abbildung 7c und 7d) eine Tendenz sichtbar, wonach bei niedrigeren Futteraufnahmehäufigkeiten die mittlere Differenz eher unter- und bei hohen Futteraufnahmehäufigkeiten eher überschätzt wird.

Der Median der prozentualen Abweichungen (Tabelle 4) liegt beim 3-Minuten-Intervall unter und beim 5-Minuten-Intervall bereits über der 10 %-Grenze, bei den beiden längeren

Intervallen überschreiten die Werte das Akzeptanzkriterium um ein Vielfaches (circa 30 % und 44 %). Somit zeigt für die Stalldaten allein das 3-Minuten-Intervall eine hinreichende Übereinstimmung mit dem Intervalllängenvergleichsstandard.

Tabelle 4: Kennwerte der Intervalllängenvergleiche anhand von Stall- und Weidedaten (Bland-Altman-Werte und Mediane der prozentualen Abweichungen). Intervalllängen = 3, 5, 8, 12 Minuten; mittlere Differenz = Mittelwert der Differenzen; Übereinstimmungsgrenzen = Mittelwert der Differenzen $\pm 1,96 \times$ Standardabweichung der Differenzen; Median der prozentualen Abweichungen = Mittel der individuellen Abweichungsbeträge; eine hinreichende Reliabilität wird bei einem Wert von maximal 10 % angenommen = *.

Stall (Heuaufnahme)				
Intervall	3 Minuten	5 Minuten	8 Minuten	12 Minuten
Mittlere Differenz	-1,00	-1,10	-5,73	-1,18
Lage der Übereinstimmungsgrenzen	-7,62 und 5,62	-10,59 und 8,39	-29,55 und 18,10	-26,72 und 24,37
Breite der Übereinstimmungsgrenzen	13,24	18,98	47,65	51,09
Median der prozentualen Abweichungen	7,69*	13,79	30,44	44,00
Weide (Grünfutteraufnahme)				
Intervall	3 Minuten	5 Minuten	8 Minuten	12 Minuten
Mittlere Differenz	-3,39	1,90	-1,49	-0,61
Lage der Übereinstimmungsgrenzen	-21,19 und 14,41	-21,51 und 25,31	-22,23 und 30,25	-40,93 und 39,71
Breite der Übereinstimmungsgrenzen	35,60	46,82	52,48	80,64
Median der prozentualen Abweichungen	7,08*	8,73*	9,28*	11,93

Bei den Weidedaten liegt in allen Bland-Altman-Diagrammen (Abbildung 8) die mittlere Differenz nur leicht über oder unter null; der Betrag wird mit zunehmender Intervalllänge kleiner. Der Abstand zwischen den Übereinstimmungsgrenzen nimmt auch bei den Weidedaten mit ansteigender Intervalllänge zu und vor allem bei Betrachtung der Kennwerte (Tabelle 4) wird ein sprunghafter Anstieg nach dem 8-Minuten-Intervall deutlich.

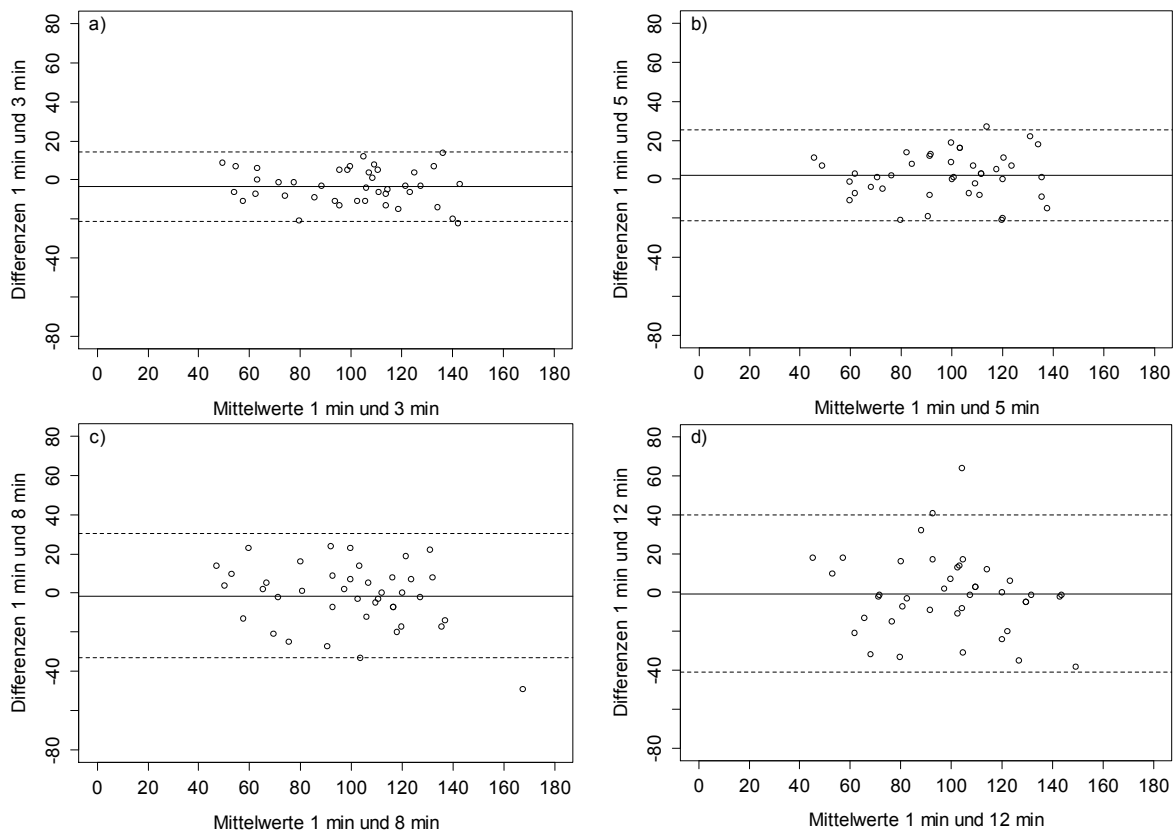
Weide (n = 41, t = 180)

Abbildung 8: Paarweise Intervalllängenvergleiche anhand der Weidedaten (Grünfutteraufnahme). n = Anzahl Herdenmitglieder, t = Anzahl Sampling-Zeitpunkte; X-Achse = Mittelwerte von Intervalllängenvergleichsstandard (1-Minuten-Intervall) und einem der Alternativintervalle (3, 5, 8, 12 Minuten) zur Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens (Heu, Gras) mittels durch Vor- und Zurückspulen komplementierter Videostandbilder; Y-Achse = Differenzen Intervalllängenvergleichsstandard minus Alternativintervall; durchgezogene horizontale Linie = Mittelwert der Differenzen, gestrichelte horizontale Linien = Übereinstimmungsgrenzen (= Mittelwert der Differenzen $\pm 1,96 \times$ Standardabweichung der Differenzen).

Auch der Median der prozentualen Abweichungen steigt mit zunehmender Intervalllänge und überschreitet jenseits des 8-Minuten-Intervalls (mit 12 %) die 10 %-Grenze (Tabelle 4).

Auf der Weide ist eine repräsentative Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens, alternativ zum 1-Minuten-Intervall, auch bei Verwendung des 3-, 5- und 8-Minuten-Intervalls möglich.

5 Diskussion

5.1 Reliabilitätsbewertung der Methoden inklusive Unterschiedsursachen ihrer Resultate

Die in den Methodenvergleich einbezogenen drei visuellen Methoden besaßen jeweils gegenläufige Ähnlichkeiten hinsichtlich ihrer Datenerfassungs- und „Bildgebungs“-Eigenschaften. Die Fotografien bildeten die „Schnittstelle“ zwischen Videostandbildern und Direktbeobachtung (Ähnlichkeit von Fotografien und Direktbeobachtung durch jeweils sukzessive Datenaufnahme, Ähnlichkeit von Fotografien und Videostandbildern hinsichtlich der „technischen Eigenschaften“ ihrer Bilder). Grundsätzlich wurden Unterschiede in den Ergebnissen von Direktbeobachtungen, Fotografien und instantanen Videostandbildern erwartet. Richtung und Umfang dieser Unterschiede hängen unter anderem von zahlreichen Rahmenbedingungen (zum Beispiel Herdengröße, räumliche Dimensionen) ab und sind somit nicht vollständig a priori einschätzbar. Die Quantifizierung der Abweichungen war daher das erste Ziel der vorliegenden Methodenstudie.

In der vorliegenden Untersuchung besaßen die Videostandbilder in allen Komponenten des Reliabilitätstests durchgängig und mit Abstand die höchste Übereinstimmungsgüte. Dies ist in großen Teilen darauf zurückzuführen, dass es zwischen den instantanen Videostandbildern und denen des Methodenvergleichsstandards keinen räumlichen Versatz gab. Selbst bei geringen Positionsabweichungen zwischen Video- und Fotokamera(s) und Direktbeobachter gibt es Differenzen im Blickwinkel, die darüber entscheiden können, ob Identität und Verhalten eines Individuums zum Datenaufnahmezeitpunkt identifiziert werden können.

Aufnahmepositionen und -winkel der Videostandbilder waren identisch mit denen des Methodenvergleichsstandards. Bei Anlegen des quantitativen Reliabilitäts-Akzeptanzkriteriums (= Median der prozentualen Abweichungen von maximal 10 %), besaßen jedoch selbst sie nicht das geforderte Übereinstimmungsausmaß. Die quantitative Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens im Stall und auf der Weide war im 3-Minuten-Intervall lediglich durch Videostandbilder mit Komplettierung durch Vor- und Zurückspulen möglich.

Wenn sich eindeutige Unterschiede zwischen Fotografien und Direktbeobachtung zeigten, dann war die Güte der Direktbeobachtung etwas höher. Auf den ersten Blick überrascht diese Überlegenheit der Direktbeobachtungen in zweierlei Hinsicht. Zum einen ist bei Direktbeobachtungen ein zeitlicher Versatz unvermeidbar, denn hier handelt es sich zwangsläufig um ein Scan Sampling, was bedeutet, dass ab dem Datenaufnahmezeitpunkt die Untersuchungsherde sukzessiv mit den Augen „abgesucht“ wird (sensu: Lehner, 1996; Martin und Bateson, 2007). In der vorliegenden Studie lieferte die Standbildfunktion der

Videoaufnahmen exakte „Instantaneous Time Sampling-Daten“ (zeitliche Ausdehnung gleich Null). Die Anfertigung der Fotografien erfolgte manuell und wegen der Größe des Areals, das nicht mit einem einzigen Bild abzudecken war, ebenfalls in Form eines Scan Samplings. Die zeitliche Ausdehnung eines Foto-Scan-Durchgangs war jedoch deutlich kürzer als die eines Direktbeobachtungs-Durchgangs und die Zeitabstände zwischen den Einzelaufnahmen waren regelmäßiger als die zwischen den einzelnen Individuen bei der Direktbeobachtung. Das Ausmaß des zeitlichen Versatzes war bei den Fotografien daher geringer als bei den Direktbeobachtungen. Zum anderen ist bei Direktbeobachtungen keine beliebig lange Sichtung und nachträgliche Korrektur möglich und sie sollten somit per se fehlerbehafteter sein.

Methodenimmanent bedingt liefert die Direktbeobachtung hinsichtlich der zeitlichen Präzision die „weichsten“ Daten. Eine solche Unschärfe wirkt sich allgemein eher negativ auf die Datenqualität aus, im vorliegenden Fall allerdings hatte sie positive Konsequenzen: Fotografien haben rein instantanen Charakter, während die Direktbeobachtung in gewissem Rahmen ein „mentales Vor- und Zurückspulen“ zulässt, sodass de facto etwas mehr Informationen einfließen und die Zahl unvollständiger Datenpunkte direkt bei der Datenerfassung reduziert werden konnte. Tosi et al. (2006) fanden einen deutlichen Vorteil der Direktbeobachtung selbst gegenüber Videostandbildern. Sie führten einen Methodenvergleich zwischen Direktbeobachtung und Videoauswertungen (beide im 2-Minuten-Takt) durch, um das „orale Verhalten“ bei Kälbern (unter anderem Kauen, Fressen, Belecken oder Beknabbern von Stallgegenständen) zu untersuchen. Die Autoren begründeten die Überlegenheit der Direktbeobachtungen vorrangig mit der hohen Differenziertheit der untersuchten Verhaltensweisen, von denen viele aufgrund der zwangsläufig limitierten technischen Bildauflösung und festen Schärfentiefe nicht identifiziert werden konnten.

In der vorliegenden Studie erstaunte zunächst weiterhin, dass die Fotografien hinsichtlich ihrer Reliabilität mit Abstand hinter die instantanen Videostandbilder zurückfielen, obwohl die „technischen Eigenschaften“ solcher Bilder überaus ähnlich sind. Neben dem räumlichen Versatz (siehe oben) liegt die Hauptursache hierfür in der unterschiedlichen Anzahl der eingesetzten Kameras und vor allem der Positionierung der Videokameras: In der vorliegenden Untersuchung wurden jeweils mehrere Videokameras gleichzeitig verwendet (vier im Stall, zwei auf der Weide), die zudem paarweise auf gegenüberliegenden Seiten des Beobachtungsareals (Futtertisch beziehungsweise Weidestück) angebracht waren. Dies reduzierte die Anzahl fehlender Werte, denn wenn der Blickwinkel der einen Videokamera die Identifikation eines Individuums und/oder seines Verhaltens nicht erlaubte, konnte diese Information meist durch die Aufnahmen der anderen

Videokamera ergänzt werden. Fotografien (und Direktbeobachtung) hingegen zeichneten in der vorliegenden Studie jeweils nur von einem Standpunkt aus auf.

In zukünftigen Methoden- und Anwendungsstudien sollten Videoaufzeichnungen möglichst in zweifacher Weise fester Bestandteil sein: Zum einen als obligate Komponente des (zu testenden) Methodenrepertoires (Videostandbilder mit effizienzoptimierter Intervalllänge). Zum anderen als Basis für die Generierung des Referenzstandards (kontinuierliche Auswertung oder hochgetaktete und durch Spulen komplettierte Standbilder). Videoaufzeichnungen bieten den gewichtigen Vorteil, dass sie nachfolgend mit verschiedenen Auszählungsprotokollen ausgewertet werden können und so eine gegebenenfalls mehrstufige Optimierung der Datenauswertung erlauben, ohne eine erneute Datenaufnahme zu erfordern (Martin und Bateson, 2007). Bei den anderen beiden Methoden wäre beispielsweise eine zunächst gröbere Intervallstaffelung (zum Eingrenzen eines geeigneten Intervallbereichs) mit anschließender feinerer Abstufung stets mit der Neuaufnahme von Daten verbunden. Im Falle der Videoaufzeichnungen entfällt nicht nur der erneute Aufnahmearbeit, sondern die Daten sind zudem uneingeschränkt vergleichbar, da die Datenbasis identisch ist.

Künftige Studien, die das Einbeziehen von Fotografien in ihren Methodenvergleich gegen einen videobasierten Standard erwägen, sollten Fotokameras in derselben Anzahl wie Videokameras einsetzen, die vollautomatisch auslösen und in unmittelbarer räumlicher Nähe zu den Videokameras positioniert sind. Beim Einbeziehen von Direktbeobachtungen ist es ratsam, die Position des Beobachters so zu wählen, dass sie möglichst nahe an einer der Videokameras liegt ohne das Sichtfeld einzuschränken. Sobald in einen Methodenvergleich Direktbeobachtungen eingeschlossen werden, ist durch den dort unvermeidbaren zeitlichen Versatz selbst bei Vollautomatisierung der Video- und Fotoaufnahmen eine vollständig synchrone Datenaufnahme ausgeschlossen.

5.2 Reliabilitäts- und Effizienzbewertung der Intervalle inklusive Unterschiedsursachen ihrer Resultate

In den Reliabilitätstests zeigten die Alternativintervalle keine durchgängige Unter- oder Überschätzung des Intervalllängenvergleichsstandards (1 Minute) und die Höhe der Abweichungen war durchgängig gering. Dies geht vor allem auf die durch Vor- und Zurückspulen komplettierten Datensätze zurück. Demzufolge entfielen fehlende Werte als eine Abweichungsquelle und die Unterschiede sind allein auf die verschiedenen Zeitraster zurückzuführen. Als direkte Folge des Hochrechnens der immer geringeren Datenmengen, nahm mit zunehmender Intervalllänge die Unschärfe (repräsentiert durch die verschiedenen

Streuungsmaße) teilweise sprunghaft zu; bei den Stalldaten nach dem 5-Minuten-Intervall, bei den Weidedaten nach dem 8-Minuten-Intervall.

Bei den Stalldaten, die sich gegenüber den Weidedaten durch insgesamt deutlich geringere Futteraufnahmehäufigkeiten auszeichneten, deuteten Musterbildungen in den Bland-Altman-Diagrammen ab 8 Minuten auf einen artifiziellen systematischen Fehler hin (niedrige Häufigkeiten wurden eher unterschätzt, höhere eher überschätzt). Auch dies wies auf das Erreichen einer kritischen Datengrenze hin.

Bei strikter Anwendung des numerischen Reliabilitäts-Akzeptanzkriteriums (mindestens 90 % Übereinstimmung) ergab bei den Stalldaten einzig die Intervalllänge von 3 Minuten hinreichend reliable Daten. Bei den Weidedaten erfüllten darüber hinaus 5 und 8 Minuten das Gütekriterium. Unter dem reinen Aspekt der Effizienz wäre bei den Weidedaten dem 8-Minuten-Intervall der Vorzug zu geben. Ist die unmittelbare Vergleichbarkeit von Stall- und Weidedaten gefordert, muss für beide Datensätze die Intervalllänge von 3 Minuten Anwendung finden.

Die in den Vergleich der vorliegenden Studie einbezogenen Intervalllängen von 3 bis 12 Minuten waren in Relation zu anderen Studien im unteren Längenbereich angesiedelt (Tabelle 2). Die Eignungsbeurteilungen der Zeitraster in der vorliegenden Untersuchung fallen teilweise deutlich restriktiver aus als in der vergleichbaren Literatur. Ausschlaggebend hierfür sind wahrscheinlich vorrangig zwei Aspekte: Unterschiede in der Reliabilitätsbestimmung und -bewertung sowie Unterschiede in den Rahmenbedingungen (vor allem Größe der untersuchten Tiergruppen, siehe weiter unten).

Die Vorgehensweisen der deskriptiven und/oder inferenzstatistischen Intervallvergleiche sowie die angelegten Reliabilitätskriterien und -grenzwerte, werden vor allem in Anwendungsstudien selten explizit angegeben. Die Mehrzahl der Untersuchungen (Tabelle 2) sind reine Anwendungsstudien, meist ohne vorangestellte Eignungstests. Von den insgesamt vier Methodenstudien in Tabelle 2 verwendete keine die spezifisch für methodische Vergleiche entwickelten Bland-Altman-Diagramme. Zur Bestimmung des Übereinstimmungsausmaßes wurden klassische inferenzstatistische Verfahren eingesetzt (Korrelationen bei Mitlöhner et al. (2001) und Mattachini et al. (2011), Regressionen bei Desnoyers et al. (2009) und Chi-Quadrat-Tests bei Tosi et al. (2006)). Die Beurteilung der Übereinstimmungsgüte erfolgte durchgängig allein anhand des Signifikanzniveaus.

Neben Unterschieden in der Methodik der Reliabilitätsbewertung erschweren Unterschiede in den Rahmenbedingungen der Untersuchungen die Vergleichbarkeit sowohl untereinander als auch mit der vorliegenden Studie. Zweifelsohne bestehen zwischen den in der Literatur untersuchten und zu Vergleichszwecken herangezogenen Wiederkäuerarten (Ziegen, Schafe und Rinder; Tabelle 2) Unterschiede in der Körpergröße und den

Charakteristika ihres Futteraufnahmeverhaltens, die jeweils Auswirkungen auf die Eignung verschiedener Methoden und vor allem Intervalllängen haben. Ein weiterer entscheidender Faktor sowohl bei der Wahl der Methode als auch des größtmöglichen Intervalls ist die Anzahl der Untersuchungstiere, deren Verhalten gleichzeitig erfasst wird (Lehner, 1996). Meist beträgt sie fünf oder sechs und maximal zehn Tiere (Tabelle 2). Oft wird auch nur das Verhalten eines einzelnen Tiers erfasst. Selten sind Studien mit bis zu 30 Gruppenmitgliedern und Gruppengrößen von über 40 Tieren stellen die Ausnahme dar.

5.3 Stall versus Weide: Relevanz des Anteils des zu untersuchenden Verhaltens

In der vorliegenden Studie wurden alle drei visuellen Methoden sowohl im Stall als auch auf der Weide angewendet. Trotz umfassender Recherche konnte keine andere Untersuchung gefunden werden, die das Raufutteraufnahmeverhalten von Ziegen an beiden Orten vergleicht.

Bei Datenerfassungen im Stall findet mehrheitlich die Analyse von Videoaufzeichnungen und auf der Weide die Direktbeobachtung Anwendung (Tabelle 2). Dies steht wahrscheinlich weniger im Zusammenhang mit Eignungsunterschieden der Methoden hinsichtlich der Erfassung der beiden Unterkategorien des Futteraufnahmeverhaltens (Heu- und Gras-, siehe unten) als vielmehr mit den praktischen Schwierigkeiten der Einrichtung eines Videoaufzeichnungssystems auf der Weide (Kapitel 3.2).

Dass für eine reliable Erfassung des Futteraufnahmeverhaltens im Stall kürzere Intervalldauern erforderlich waren als auf der Weide, steht in direktem Zusammenhang mit den Unterschieden in der relativen Häufigkeit von Heuaufnahme- und Graseverhalten: In der vorliegenden Studie wurden die Ziegen auf der Weide durchschnittlich knapp fünfmal so häufig futteraufnehmend erfasst wie im Stall (circa 58% versus circa 12% Zeitanteil). Heu- und Grünfutteraufnahme unterscheiden sich trotz ihrer Zugehörigkeit zum selben Verhaltensbereich (Futteraufnahme) hinsichtlich der Art des Futterangebots sowie der Rahmenbedingungen der Futteraufnahme deutlich voneinander: Im Stall wurde ausschließlich Heu vorgelegt und die Futteraufnahme konnte nur am Futtertisch stattfinden. Wegen der hohen, räumlich konzentrierten Futterangebotsdichte konnten relativ schnell große Mengen aufgenommen werden. Auf der Weide hingegen war die Grünfutterverteilung niedriger und homogener und die Aufnahme entsprechender Mengen erforderte mehr Zeit.

Der vorliegende Vergleich der Heu- und Grünfutteraufnahmehäufigkeiten illustriert anschaulich die weitreichende Bedeutung des Anteils (inklusive der zeitlichen Organisation) des zu untersuchenden Verhaltens für methodische Entscheidungen (vergleiche Lehner, 1996).

Zum einen führte bei den Stalldaten der geringere Anteil an Datenpunkten, zu denen eine Futteraufnahme stattfand, bei den längeren Alternativintervallen zu grafischen Hinweisen auf eine zunehmend kritische Ausdünnung der Daten. Zum anderen wirkten sich bei den niedrigen Häufigkeiten der Stalldaten die Methodenunterschiede stärker aus. Bei den höheren Häufigkeiten der Weidedaten hingegen waren die Ergebnisse der verschiedenen Methoden bemerkenswert ähnlich. Verhalten, das einen relativ großen Anteil einnimmt, ist „robuster“ gegenüber methodenspezifischen Eigenheiten und auch Unterschieden in der Intervalllänge, denn die „Trefferquote“ fällt allgemein höher aus. In diesem Fall hat auch die Dauer der einzelnen Verhaltenseinheiten weniger Auswirkungen, da selbst bei kurzen Dauern eine entsprechend höhere Häufigkeit vorliegt. Bei seltenerem Verhalten kommt der Dauer der Verhaltenseinheiten eine sehr viel größere Bedeutung zu. Dies gilt vor allem im Hinblick auf das Verhältnis von (mittlerer) Verhaltensdauer zu Sampling-Intervalllänge (Altmann, 1974).

Bei der Konzeption zukünftiger Anwendungs- und Vergleichsstudien erscheint es daher zum einen empfehlenswert, bei der (Vor-)Auswahl von reliablen Methoden und den effizientesten Intervallen, die Orientierung nicht primär anhand des übergeordneten Verhaltensbereichs vorzunehmen (zum Beispiel Futteraufnahme, Lokomotion, Komfortverhalten, Interaktionen). Stattdessen sollte vorrangig die zeitliche Organisation (Dauer und Häufigkeit, Gesamtanteil) herangezogen werden, da diese zwischen Verhaltenskategorien verschiedener Funktionsbereiche mitunter ähnlicher sein kann als innerhalb desselben Bereichs. Dazu ist es ratsam, im Vorfeld den Anteil des zu untersuchenden Verhaltens am Gesamtverhalten zu ermitteln (vergleiche Martin und Bateson, 2007); idealerweise wird auch die mittlere Dauer bestimmt. Bei einem relativ niedrigen Anteil des Zielverhaltens wird ein vorgeschalteter Methodenvergleich empfohlen, da die methodenspezifischen Eigenschaften über das Erfüllen des Reliabilitäts-Akzeptanzkriteriums entscheiden können. Bei einem hohen Anteil hingegen tritt die Bedeutung einer „durchoptimierten“ Methodenwahl zurück und die Praktikabilität unter den jeweiligen Rahmenbedingungen kann stärker berücksichtigt werden. Beispielsweise können für die Datenerfassung im Freiland, bei der eine vollständige Videoabdeckung bei größeren Herden und/oder Flächen oft nur mit beträchtlichem Aufwand zu gewährleisten ist, direkt Fotografien oder Direktbeobachtung zum Einsatz kommen.

6 Schlussfolgerungen

Die hinsichtlich Reliabilität und Anwendungseffizienz geeignetste visuelle Methode und Intervalllänge können nicht im Vorfeld allein anhand von theoretischen Überlegungen ermittelt werden, sondern erfordern eine empirische Überprüfung. Das Spektrum potentiell geeigneter Methoden und Zeitraster kann anhand ähnlicher Studien eingegrenzt werden. Dabei ist neben der Herdengröße und Tierart sowie den räumlichen Dimensionen des Untersuchungsareals die zeitliche Organisation des jeweiligen Verhaltens (Häufigkeit, Dauer, Anteil) bedeutsam; ihre Relevanz kann mitunter größer sein als die der Zugehörigkeit zum übergeordneten Verhaltensbereich. Im Vorfeld der Datenaufnahme einer Anwendungsstudie wird eine Reliabilitätsprüfung explizit angeraten. Hierfür bietet die vorliegende Studie ein erprobtes, mehrstufiges Vorgehen an. Für das Erstellen des Referenzstandard-Datensatzes werden Videoaufzeichnungen empfohlen, da bei zeitgerasterten Auswertungen die Vollständigkeit der Daten durch gezieltes Vor- und Zurückspulen erhöht werden kann. Der als Ergänzung zu den Bland-Altman-Kennwerten vorgestellte Median der prozentualen Abweichungen und sein 10 %-Grenzwert geben ein striktes und präzises, quantitatives Akzeptanzkriterium an die Hand. In der vorliegenden Studie fallen die Eignungsbeurteilungen der Intervalllängen vor allem bei Direktbeobachtungen und Videoauswertungen teilweise deutlich restriktiver aus als in der vergleichbaren Literatur.

Danksagung

Wir danken Laura Schneider, Daniel Baumgart, Björn Stamer, Carlotta Hoffmann, Lena Weiß, Kerstin Lübbers, Jan Hendrik Moos und Sebastian Wrage für ihre Unterstützung bei der Datenaufnahme und -auswertung sowie Ka Schuster und Sabine Dietrich für ihre hilfreichen Denkanstöße während der Manuskripterstellung. Darüber hinaus gilt unser Dank zwei anonymen Gutachtern sowie Hans Marten Paulsen für die konstruktive Kritik bei der Überarbeitung des Artikels.

Literatur

- Abijaoudé J A, Morand-Fehr P, Béchet G, Brun J-P, Tessier J, Sauvant D (1999) A method to record the feeding behaviour of goats. *Small Ruminant Research* 33:213-221
- Altman D G, Bland J M (1983) Measurement in medicine: the analysis of method comparison studies. *The Statistician* 32:307-317
- Altmann J (1974) Observational study of behaviour: sampling methods. *Behaviour* 49:225-267
- Bender S, Ude G, Georg H (2012) Erprobung des Echtzeit-Ortungssystems Ubisense zur Erfassung der Aufenthaltsdauer von Ziegenlämmern in Futterhecken. *Landbauforschung* 62:137-150
- Bland J M, Altman D G (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet* 327:307-310
- Bland J M, Altman D G (1999) Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research* 8:135-160
- Bland J M, Altman D G (2003) Applying the right statistics: analysis of measurement studies. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology* 22:85-93
- Blomberg K (2011) Automatic Registration of Dairy Cows [sic] Grazing Behaviour on Pasture. Examensarbeit der University of Agricultural Sciences Uppsala, Sweden [URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-6-404>]
- Broom D M (1988) The scientific assessment of animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science* 20:5-19
- Brosh A, Henkin Z, Ungar E D, Dolev A, Orlov A, Yehuda Y, Aharoni Y (2006) Energy cost of cows' grazing activity: use of the heart rate method and the Global Positioning System for direct field estimation. *Journal of Animal Science* 84:1951-1967
- Celaya R, Oliván M, Ferreira L M, Martínez A, García U, Osoro K (2007) Comparison of grazing behaviour, dietary overlap and performance in non-lactating domestic ruminants grazing on marginal heathland areas. *Livestock Science* 106:271-281
- Cozzi G, Gottardo F (2005) Feeding behaviour and diet selection of finishing Limousin bulls under intensive rearing system. *Applied Animal Behaviour Science* 91:181-192
- Dawkins M S (2003) Behaviour as a tool in the assessment of animal welfare. *Zoology* 106:383-387
- Desnoyers M, Béchet G, Duvaux-Ponter C, Morand-Fehr P, Giger-Reverdin S (2009) Comparison of video recording and a portable electronic device for measuring the feeding behaviour of individually housed dairy goats. *Small Ruminant Research* 83:58-63
- DeVries T J, von Keyserlingk M A G, Weary D M, Beauchemin K A (2003) Technical note: validation of a system for monitoring feeding behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86:3571-3574
- DeVries T J, von Keyserlingk M A G, Weary D M (2004) Effect of feeding space on the inter-cow distance, aggression, and feeding behavior of free-stall housed lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87:1432-1438

- Engel J (1996) Choosing an appropriate sample interval for instantaneous sampling. *Behavioural Processes* 38:11-17
- Friend T H, Polan C E (1974) Social rank, feeding behavior, and free stall utilization by dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 57:1214-1220
- Georg H, Bender S, Ude G (2012) Erprobung eines Ortungssystems zur Erfassung des Weideverhaltens von Ziegenlämmern. *Landtechnik* 67:136-139
- Grouven U, Bender R, Ziegler A, Lange S (2007) Vergleich von Messmethoden. *Deutsche Medizinische Wochenschrift* 132:e69-e73
- Gygax L, Neisen G, Bollhalder H (2007) Accuracy and validation of a radar-based automatic local position measurement system for tracking dairy cows in free-stall barns. *Computers and Electronics in Agriculture* 56:23-33
- Hoff K J (2005) R-Handbuch. Bachelorarbeit, Universität Hannover, Lehrgebiet für Bioinformatik (heute Biostatistik) [URL: <http://www.biostat.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/RHANDBUCH.PDF>]
- Jørgensen G H M, Andersen I L, Boe K E (2007) Feed intake and social interactions in dairy goats - the effects of feeding space and type of roughage. *Applied Animal Behaviour Science* 107:239-251
- Kaufmann O, Azizi O, Hasselmann L (2007) Untersuchungen zum Fressverhalten hochleistender Milchkühe in der Früh lactation. *Züchtungskunde* 79:219-230
- Keeling L J, Gonyou H W (2001) *Social Behaviour in Farm Animals*. CAB International, Wallingford
- Köhler F M (2005) Wohlbefinden landwirtschaftlicher Nutztiere: nutztierwissenschaftliche Erkenntnisse und gesellschaftliche Einstellungen. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Agrarökonomie [URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:8-diss-15452>]
- Kronberg S L, Malechek J C (1997) Relationships between nutrition and foraging behavior of free-ranging sheep and goats. *Journal of Animal Science* 75:1756-1763
- Lehner P N (1996) *Handbook of Ethological Methods*. Cambridge University Press, Cambridge
- Lexer D, Hagen K, Palme R, Troxler J, Waiblinger S (2004) Relationships between time budgets, cortisol metabolite concentrations and dominance values of cows milked in a robotic system and a herringbone parlour. In Meijering A, Hogeveen H, Koning C J A M (Hrsg) (2004) *Automatic Milking: A Better Understanding*. Tagungsband, Leystadt, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 389-393
- Martin P, Bateson P (2007) *Measuring Behaviour: An Introductory Guide*. Cambridge University Press, Cambridge
- Matsui K (1994) A new ambulatory data logger for a long-term determination of grazing and rumination behaviour on free-ranging cattle, sheep and goats. *Applied Animal Behaviour Science* 39:123-130
- Mattachini G, Riva E, Provolo G (2011) The lying and standing activity indices of dairy cows in free-stall housing. *Applied Animal Behaviour Science* 129:18-27

- McGlone J J (2001) Farm animal welfare in the context of other society issues: toward sustainable systems. *Livestock Production Science* 72:75-81
- Mitlöhner F M, Morrow-Tesch J L, Wilson S C, Dailey J W, McGlone J J (2001) Behavioral sampling techniques for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 79:189-193
- Moreau M, Siebert S, Buerkert A, Schlecht E (2009) Use of a tri-axial accelerometer for automated recording and classification of goats' grazing behaviour. *Applied Animal Behaviour Science* 119:158-170
- Müller R, Schrader L (2003) A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 83:247-258
- Naguib M (2006) *Methoden der Verhaltensbiologie*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Neisen G, Wechsler B, Gygax L (2009) Choice of scan-sampling intervals - an example with quantifying neighbours in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 116:134-140
- Nielsen L R, Pedersen A R, Herskin M S, Munksgaard L (2010) Quantifying walking and standing behaviour of dairy cows using a moving average based on output from an accelerometer. *Applied Animal Behaviour Science* 127:12-19
- Nydegger F, Gygax L, Egli W (2011) Automatisches Messen der Kaubewegungen bei Wiederkäuern mit Hilfe eines Drucksensors. *Agrarforschung Schweiz* 2:60-65
- Prache S, Damasceno J C (2006) Preferences of sheep grazing down conterminal monocultures of *Lolium perenne-Festuca arundinacea*: Test of an energy intake rate maximization hypothesis using the short-term double weighing technique. *Applied Animal Behaviour Science* 97:206-220
- Rahmann G (2009) Performance of organic goat milk production in grazing systems in Northern Germany. *Landbauforschung* 59:41-46
- Safari J, Mushic D E, Kifaroc G C, Mtengac L A, Eika L O (2011) Seasonal variation in chemical composition of native forages, grazing behaviour and some blood metabolites of Small East African goats in a semi-arid area of Tanzania. *Animal Feed Science and Technology* 164:62-70
- Sanon H O, Kaboré-Zoungana C, Ledin I (2007) Behaviour of goats, sheep and cattle and their selection of browse species on natural pasture in a Sahelian area. *Small Ruminant Research* 67:65-74
- Scheibe K M, Schleusner T, Berger A, Eichhorn K, Langbein J, Dal Zotto L, Streich W J (1998) ETHOSYS® – new system for recording and analysis of behaviour of free-ranging domestic animals and wildlife. *Applied Animal Behaviour Science* 55:195-211
- Schaefer S (2012) *Situationsspezifische Interaktionsstrukturen und Assoziationsgefüge bei Milchziegen*. Masterarbeit, Philipps-Universität Marburg, Fachbereich Biologie (unveröffentlichte Masterarbeit)
- Schlecht E, Hülsebusch C, Mahler F, Becker K (2004) The use of differentially corrected Global Positioning System to monitor activities of cattle at pasture. *Applied Animal Behaviour Science* 85:185-202

- Tosi M V, Ferrante V, Mattiello S, Canali E, Verga M (2006) Comparison of video and direct observation methods for measuring oral behaviour in veal calves. *Italian Journal of Animal Science* 5:19-27
- Tukey J W (1977) *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley, Boston, Massachusetts
- Vansdadiya R, Kothari A M (2014) A review on differential time lapse video techniques. *International Journal for Scientific Research & Development (IJSRD)* 1:2321-0613
- Vasilatos R, Wangsness P J (1980) Feeding behavior of lactating dairy cows as measured by time-lapse photography. *Journal of Dairy Science* 63:412-416
- Wasilewski A (2003) „Freundschaft“ bei Huftieren? – Soziopositive Beziehungen zwischen nicht-verwandten artgleichen Herdenmitgliedern. Dissertation, Philipps-Universität Marburg, Fachbereich Biologie [URL: <http://archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z2003/0639urn:nbn:de:hebis:04-z2003-06393>]
- Wendl G, Wendling F, Wagner M, Pirkelmann H (1999) Futterstand zur automatischen Erfassung der Futteraufnahme bei Schafen. *Landtechnik* 54:304-305

3 Manuscript II

Title

Effects of reduced concentrate feed on dairy goat productivity, and evidence of dominance-related compensatory roughage feeding behaviour

Authors

Sybille Schaefer^{1,2}, Gerold Rahmann², Anja Wasilewski¹

¹ Philipps-Universität Marburg, Faculty of Biology, Department of Zoology, Karl-v.-Frisch-Str. 8, 35043 Marburg, Germany

² Institute of Organic Farming, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Germany

Summary

Effects of 2 concentrate rations on milk yield and components, live weight and roughage feeding behaviour of dairy goats were compared under organic husbandry conditions. Data were analysed for evidence of a compensatory effect of hay feeding and grazing, and dominance-related differences. Each goat received 1000g/d concentrate (group A, n=18) or 100g/d (B, n=23); access to hay and grass was ad lib. The 2 groups lived as 1 herd, and dominance indices were derived from social interactions (direct observation). Roughage feeding behaviour was recorded on video (30h), evaluated at 3-min intervals and expressed as individual relative feeding frequencies. Statistical analyses included t-tests and Pearson correlations. Results support a positive link between concentrate and productivity (group differences: milk yield 17%, $p < 0.05$; weight 6%) and suggest compensatory roughage feeding (grass: $p < 0.01$). Significantly higher roughage feeding frequencies of group B provide additional evidence (hay $p < 0.05$, grass $p < 0.01$). The animals' nutritional state, as reflected by milk fat-to-protein ratio, was overall balanced (group A = 1.03 ± 0.12 , B = 1.09 ± 0.14 , $p > 0.05$). In both groups, correlations between dominance and feeding frequency were positive for hay (by trend), and negative for grass (A: $r^2 = 35\%$, B: $r^2 = 34\%$, both $p < 0.01$). The pasture bears particular compensatory relevance for subordinates, as dominants can exclude them from grazing to a far lesser extent than from feeding hay. Weighing the lower productivity against concentrate savings may result in an overall financial benefit.

Keywords: concentrate ration, hay feeding, grazing, milk yield, live weight, organic farming, "Feed less Food"

Titel

Auswirkungen reduzierter Kraftfuttergabe auf die Produktivität von Milchziegen und Hinweise auf ein dominanzabhängiges, kompensatorisches Raufutteraufnahmeverhalten

Zusammenfassung

Der Einfluss von 2 Kraftfutterrationen auf Milchmenge, -inhaltsstoffe, Lebendgewicht und Raufutteraufnahmeverhalten ökologisch gehaltener Milchziegen wurde verglichen. Die Auswertung erfolgte bzgl. etwaiger kompensatorischer Heu- und Grasaufnahme und dominanzbezogener Unterschiede. Jede Ziege erhielt 1000 bzw. 100g/d Kraftfutter (Gruppe A, n=18 bzw. B, n=23); Heu und Gras lagen ad lib. vor. Die 2 Gruppen lebten als 1 Herde; aus sozialen Interaktionen (Direktbeobachtung) wurden Dominanzindices berechnet. Das Raufutteraufnahmeverhalten wurde auf Video aufgezeichnet (30h), im 3-min-Takt ausgewertet und als individuelle relative Futteraufnahme-Häufigkeiten ausgedrückt. Statistische Analysen umfassten u.a. t-tests und Pearson-Korrelationen. Die Resultate zeigen eine positive Beziehung von Kraftfutter und Produktivität (Gruppenunterschiede: Milch 17%, $p < 0.05$; Gewicht 6%) und weisen auf eine kompensatorische Raufutteraufnahme hin (Gras: $p < 0.01$). Gestützt wird dies durch signifikant höhere Raufutteraufnahme-Häufigkeiten von Gruppe B (Heu $p < 0.05$, Gras $p < 0.01$). Der Ernährungszustand war insgesamt ausgewogen (Fett-Eiweiß-Quotient: $A = 1.03 \pm 0.12$, $B = 1.09 \pm 0.14$, $p > 0.05$). In beiden Gruppen korrelierten Dominanz und Futteraufnahme-Häufigkeit bei Heu positiv ($0.05 < p < 0.1$), bei Gras negativ (A: $r^2 = 35\%$, B: $r^2 = 34\%$, beide $p < 0.01$). Die Weide hat für Rangniedrige besondere kompensatorische Relevanz, denn Ranghohe können Unterlegene weniger stark am Grasens hindern als an der Heuaufnahme. Das Abwägen der geringeren Produktivität gegen Kraftfuttereinsparungen kann sich finanziell insgesamt auszahlen.

Schlüsselwörter: Kraftfutterration, Heuaufnahme, Grasen, Milchmenge, Körpergewicht, Ökologischer Landbau, „Feed less Food“

1. Introduction

Today, world population amounts to 7.3 billion people and by 2050 it will have increased to approx. 9.7 billion (UN, 2015). Currently, every ninth is undernourished (FAO, 2015).

One way towards increasing the food available for human consumption is to reduce the proportion of foodstuffs being fed to farm animals (Rahmann and Oppermann, 2010). Particularly in conventional, high-performance meat and dairy production systems, animal diets contain a substantial proportion of concentrate feed (grain: e.g. wheat, maize, barley and/or oilseeds: e.g. soy, rape, sunflower) (WWF, 2014).

Further benefits of reducing concentrate feed comprise saving the farmers' money, and in ruminant species a concentrate-reduced diet is also healthier for the animals' digestive tract: through a lack in crude fibre, high energy and protein feed can decrease rumen-pH-value to below 5.0 and subsequently lead to rumen acidosis (Gall, 2001). With respect to high-performing dairy animals, however, many farmers are apprehensive of lower milk production and health encroachment (live weight loss and nutrient deficit) (Rahmann et al., 2009; Rahmann and Oppermann, 2010). In high-performance breeds with their genetic potential for high milk yields, low levels of concentrate feed can be an animal welfare issue.

The project "Feed less food in organic dairy goat husbandry" (2009-2014) of the Thuenen-Institute of Organic Farming assesses impacts of reduced concentrate feed on high-performance dairy goats. Study goats were fed concentrate rations as specified in the EU-organic-regulation and in the even more restrictive guidelines of Bio Suisse (cf. chapter 2.2).

Among domestic ruminants, goats differ from cattle and sheep with respect to their feeding type: According to Hofmann (1989), cattle and sheep are "grass and [dry] roughage eaters" (preferring feed rich in fibre), whereas goats are categorized as the "intermediate type", meaning intermediate between "grass and [dry] roughage eaters" and "concentrate selectors" (such as, e.g., roe deer and elk, which preferentially consume plant parts in which energy and/or nutrients are concentrated). Goats are opportunistic and choose a mixed diet, whereby avoiding fibre when possible (Hofmann, 1989). Their split upper lip facilitates selecting plant parts according to protein content and digestibility (Aschenbach and Rahmann, 2010). The goats' digestive system allows them to meet 60 % of their feeding requirements with foliage and young shoots, a proportion far higher than that for sheep (20 %) and cattle (10 %) (Rahmann, 2004).

This ability of goats to actively select particular components out of the provided roughage (e.g. hay and grass) predisposes them for an investigation into potential compensatory roughage feeding when the amount of concentrate feed is reduced.

The aims of the presented study on dairy goats comprise the assessment of:

- 1) potential negative effects of reduced concentrate levels on productivity parameters (milk yield and live weight) and nutritional state (milk fat-to-protein ratio)
- 2) evidence regarding compensatory alterations in roughage feeding behaviour (hay and grass)
- 3) potential dominance-related differences in compensatory roughage feeding behaviour.

2. Animals, materials and methods

2.1 Research area

The Thuenen-Institute of Organic Farming is situated in Trenthorst in Schleswig-Holstein (Northern Germany). Data collection was conducted at the research station in Wulmenau (3.5 km from Trenthorst) from June to October 2013; average temperature in those months was between 11.3 and 19.2°C and rainfall amounted to 185.2 litres/m².

2.2 Animals, feeding management and housing conditions

The study herd of 41 horned, lactating dairy goats (*Capra hircus*, breed: German Improved Fawn) was kept under organic husbandry standards. The goats had been reared on-site and were between 2 and 7 years old.

Concentrate feed consisted of pellets of shredded wheat and was produced on-farm. It was rationed individually and fed twice a day (at 6:00 h and 16:00 h) in the 10-side-by-side milking parlour, while the animals were being fixed during milking.

With regard to the concentrate ration, individuals had been assigned to treatment groups (balanced for live weight, age and milk performance) 3 years prior to data collection (the younger animals from their time of entry into the milking herd, respectively) and allocation was permanent. Both treatment groups were continuously living together as one herd. During lactation, animals of treatment group 'A' (n = 18) received 1000 g concentrate per goat and day (\triangleq 40 % of yearly amount of dry matter; EU-organic-regulation N° 889/2008 with code of practice N° 834/2007), animals of treatment group 'B' (n = 23) were fed a reduced amount of 100 g concentrate per goat and day (\triangleq 10 % of yearly amount of dry matter; Bio Suisse guidelines). (Detailed information on the calculation of the percentages is given in Rahmann and Oppermann, 2010).

The study animals spent half the day at pasture (approx. 8 h) and were stabled for the night in a loose-housing barn. Eight pastures (approx. 3.25 ha each) were used in a rotational grazing system. Vegetation consisted of grassland of the classification *Cynosurion cristati* (= fertile meadow) with 80 % to 98 % grass (Rahmann, 2009). Per goat, the loose-housing barn provided an indoor space of 8.4 m² plus 2.9 m² in the adjacent outdoor enclosure (with concrete floor). Fresh water and mineral feed were accessible ad lib.

Hay was fed ad lib. from an oblong feeding table with wooden palisade feeding fences (about two places per goat) in the centre of the barn. To enable food selection, roughage was available in abundance and was provided with a maximum toleration of 50 % rejected feed remains. To meet this requirement, the goats received fresh hay twice a day.

For quick and unambiguous identification during video recordings of the goats' roughage feeding and direct observation of their dominance-relevant behaviour, individual numbers (one to two figures, roughly one DIN-A4 page per figure in size) were bleached laterally into the goats' brown coat (with H₂O₂). Group A-animals were assigned selected numbers from within the range of 1-26 and also number 90. Group B-animals sported numbers from within the range of 30-58 plus number 80.

2.3 Data collection and processing

2.3.1 Productivity parameters and nutritional state: milk yield, live weight and fat-to-protein ratio

Beginning at lambing (in spring), individual milk yields were determined once a month by the milker weighing the amount to the nearest 10 g on a digital household balance. After eight milk counts, individual 240 days-milk yields were calculated.

Individual live weights were recorded once a month (immediately after the 16:00 h-milking) to the nearest 100 g with a mobile electronic set of scales. Averages were calculated for the same 8-month period.

Monthly, milk samples were sent to the state control association in Schleswig-Holstein (LKV) where individual fat and protein contents were determined (and expressed as percentages of the milk amount). From these, individual fat-to-protein ratios were calculated over 240 days of lactation. Ratios between 1.0 and 1.5 represent normal values, while ratios below 1.0 can indicate a deficit in crude fibre (risk of acidosis = rumen pH-value < 5) and above 1.5 an energy deficit (risk of ketosis = catabolism of body fat) (Rahmann, 2010).

2.3.2 Roughage feeding behaviour

Data collection of roughage feeding behaviour comprised a total of 30 h of video recordings (15 h hay, inside the barn and 15 h grass, at pasture).

Roughage feeding behaviours were defined as follows:

- Feeding hay: The goat stands at the feeding table, her head is lowered inside a feeding place with the muzzle touching the hay.
- Feeding grass: The goat stands or walks slowly at pasture and her head is lowered as deep as the muzzle touching the grass.

Roughage feeding behaviour was automatically captured on video. In accordance with daily husbandry routine, feeding hay was recorded between 18:00 h and 6:00 h and grazing between 8:00 h and 16:00 h. In the barn, two digital black/white-video cameras (Panasonic® WV-BP 109, 2.8 mm focal width, 30 images/s) were installed above each side of the feeding table. The footage was stored on the hard drive of a digital recorder (Everfocus® EDR-810). At pasture, two digital full HD-colour-cameras (Panasonic® HX-WA30, 4.0-20.0 mm focal width, 60 images/s) were mounted and aligned on mobile tripods. To reciprocally cover blind areas, the tripods were positioned opposite each other at the edges of the pasture. Data were stored on an SD-card (SanDisk®).

The video footage was evaluated by instantaneous time-sampling (Altmann, 1974; Lehner, 1996; Martin and Bateson, 2007) with an interval of 3 min. Continuous transcription would not have provided more detailed insight, since due to its extended duration, feeding behaviour is to be regarded as a behavioural state rather than an event.

At every sampling point, an unambiguous identification of each animal and its momentary activity was obtained by winding the footage back and/or forth, if required. Roughage feeding behaviours were scored according to two states: 'feeding' vs. 'not feeding'.

Evaluations are based on a total of 24,600 data points (600 per animal, with 300 for each of the two roughage types). For each animal and roughage type, the number of sampling points at which it was identified as feeding was counted and subsequently expressed as percentage of the 300 sampling points. In the following, these percentages are referred to as (relative) 'roughage/hay/grass feeding frequencies'. This behavioural measure provides an approximation of the proportion of time an individual spent engaged in roughage feeding behaviour.

2.3.3 Dominance-relevant interactions

Dyadic social interactions were recorded by direct observation over a total of 97 h. For interaction protocols, behaviour sampling was used (Martin and Bateson, 2007). Due to insufficient numbers of social interactions at pasture (cf. Barroso et al., 2000), efficient collection of dominance-relevant interactions was limited to times spent inside the barn. Particularly the first hour after milking was characterized by high general activity including social interactions.

Information on dominance relations was derived from agonistic encounters (e.g. yielding right of way, spontaneous withdrawal, threat, physical combat) as well as a range of interactions, during which a goat tolerates being utilized by another herd member for that goat's comfort behaviour (e.g. a dominant goat using a subordinate's horntip for scratching the area between her horn bases).

For each dyad, interaction frequencies, together with the dominance-indicating direction and outcome of the interaction, were scored. A total of 4,017 social interactions were included in the calculation of 'dominance indices' by means of the formula of Eden (1987): First, a 'dominance value' was determined for each animal by summing up all its dyadic proportions of victories (i.e. the number of its victories over a particular animal, divided by the total number of conflicts within the respective dyad). Then, the individual 'dominance index' was derived by dividing the 'dominance value' by the number of conflict partners.

2.4 Statistical analyses

All statistical analyses were conducted using the software "R 3.2.1". Data were tested for deviation from normal distribution and from homogeneity of variance with Shapiro-Wilk-tests and F-tests, respectively. Their outcome subsequently permitted use of parametric statistics to test results of descriptive methods for significance: Student's t-tests were employed to test for significant differences between the two treatment groups (A vs. B) with respect to productivity parameters (milk yield, live weight), nutritional state (fat-to-protein ratio) and roughage feeding frequencies (hay, grass). Within each group (A, B), Pearson's product-moment correlations were used to test for significant correlations between dominance indices and roughage feeding frequencies (hay, grass).

Coefficients of determination (r^2) were assessed according to Sprinthall (2003, quoted in Martin and Bateson, 2007): If r^2 was below 4 %, the correlation was considered negligible. Between > 4 % and < 16 % the correlation was regarded as low, and between > 16 % and < 49 % it was considered moderate. An explained variation above 49 % was taken to indicate a high correlation, and above 81 % a very high correlation.

3. Results

All parameters analysed (240 days-milk yields and fat-to-protein ratio, average 8-months live weights, hay and grass feeding frequencies, dominance indices) did not deviate significantly from normal distribution and homogeneity of variance, and parametric methods were applied subsequently.

3.1 Productivity and nutritional states of the treatment groups

Individual 240 days-milk yields differed across the entire herd, by up to approx. 500 kg, with yields ranging from approx. 274 kg to 773 kg (Table 1). Values of group A varied from approx. 368 kg to 773 kg and those of group B from 274 kg to 664 kg. On average, group B-animals produced 97.44 kg less milk in 240 days than group A-animals. Group differences were significant ($t = 3.26$, $p < 0.01$).

Table 1: Milk parameters (240-days milk yield, milk fat-to-protein ratio) and live weights (8-month average). Concentrate feeding groups: A ($n = 18$): ration = 1000 g/d, B ($n = 23$): ration = 100 g/d; milk fat-to-protein ratio thresholds: ratios < 1.0 can be indicative of a crude fibre deficit, ratios > 1.5 of an energy deficit.

	Herd	Group A	Group B
Milk yield (kg)			
Minimum - maximum	274.20 - 772.50	367.60 - 772.50	274.20 - 664.20
Mean \pm standard deviation	520.86 \pm 105.70	575.52 \pm 103.35	478.08 \pm 87.77
Fat-to-protein ratio			
Minimum - maximum	0.77 - 1.48	0.77 - 1.27	0.89 - 1.48
Mean \pm standard deviation	1.06 \pm 0.13	1.03 \pm 0.12	1.09 \pm 0.14
Number of goats with ratios < 1.0	12	6	6
Number of goats with ratios > 1.5	0	0	0
Live weight (kg)			
Minimum - maximum	50.29 - 77.18	51.53 - 77.18	50.29 - 70.48
Mean \pm standard deviation	61.04 \pm 6.32	63.29 \pm 6.26	59.31 \pm 5.91

Fat-to-protein ratios ranged in feeding group A between approx. 0.8 and 1.3 and in group B between approx. 0.9 and 1.5 (Table 1). On average, group B-animals' ratios were 0.06 higher than those of group A. Differences between groups were not significant ($t = -1.31$, $p \gg 0.05$). In each feeding group, six animals had fat-to-protein ratios under 1.0 (Table 2). None of the values exceeded the upper threshold of 1.5.

Table 2: Nutritional state: individuals with milk fat-to-protein ratios below the 1.0-threshold. Concentrate feeding groups: A (n = 18): ration = 1000 g/d, B (n = 23): ration = 100 g/d. Within each group, data are sorted by fat-to-protein ratio in descending order.

	Group A						Group B					
Animal number	18	14	24	16	20	26	54	56	80	58	52	42
Fat-to-protein ratio	0.97	0.97	0.96	0.90	0.85	0.77	0.99	0.98	0.91	0.89	0.89	0.89
Mean \pm standard deviation	0.90 \pm 0.08						0.93 \pm 0.05					

Individual live weights, averaged over 8 months, varied across the whole herd by up to approx. 27 kg, with weights covering approx. 50 kg to 77 kg (Table 1). Values of group A ranged from approx. 52 kg to 77 kg and those of group B from approx. 50 kg to 70 kg. On average, group B-animals were approx. 4 kg lighter than group A-animals. Group differences were significant ($t = 2.42$, $p < 0.05$).

3.2 Roughage feeding frequencies of the treatment groups

Overall, individual feeding frequencies were lower for hay than for grass (roughly 18 % vs. 47 %; Table 3).

Table 3: Roughage feeding frequencies. Concentrate feeding groups: A (n = 18): ration = 1000 g/d, B (n = 23): ration = 100 g/d. $t = 300$ sample points per animal and roughage type. 'Top 12' = number of animals among the 12 with the highest frequency scores; n. a. = not applicable.

	Herd	Group A	Group B
Hay feeding frequency (%)			
Minimum - maximum	5.00 - 32.00	5.00 - 24.00	5.67 - 32.00
Mean \pm standard deviation	17.86 \pm 6.31	15.67 \pm 5.06	19.65 \pm 5.97
'Top 12'	n. a.	2	10
Grass feeding frequency (%)			
Minimum - maximum	24.00 - 82.00	24.0 - 62.67	24.76 - 82.00
Mean \pm standard deviation	47.13 \pm 14.85	40.45 \pm 11.02	53.25 \pm 14.79
'Top 12'	n. a.	2	10

Hay feeding frequencies within the entire herd varied between 5 % and 32 % (Table 3). Frequencies of group A ranged from 5 % to 24 % and those of group B from 6 % to 32 %. Except for two, the one dozen animals with the highest hay feeding frequencies belonged to group B. Hay feeding frequencies of group B were significantly higher than those of group A ($t = -2.27$, $p < 0.05$).

Grazing frequencies across the whole herd covered a range between approx. 24 % and 82 % (Table 3). Values of group A ranged from approx. 24 % to 63 % and those of group B from approx. 25 % to 82 %. Except for two animals, the one dozen with the highest grazing

frequencies were members of group B. Grazing frequencies of group B were significantly higher than those of group A ($t = -3.06$, $p < 0.01$), and the effect was more pronounced than in the hay feeding frequencies.

3.3 Dominance indices and roughage feeding frequencies of the treatment groups

A dominance index can assume values between 0.00 % and 100.00 %. Dominance indices of the 41 herd members ranged between approx. 3 % and 97 %; 21 animals reached values above 50 % (Table 4), representing an overall symmetrical distribution of dominance indices.

Table 4: Dominance indices. Concentrate feeding groups: A ($n = 18$): ration = 1000 g/d, B ($n = 23$): ration = 100 g/d. $i = 4,017$ interactions. Dominance indices can assume values between 0 % and 100 %.

	Herd	Group A	Group B
Dominance index (%)			
Minimum - maximum	3.15 - 96.72	3.15 - 95.77	3.60 - 96.72
Mean \pm standard deviation	49.47 \pm 25.37	54.39 \pm 22.37	45.62 \pm 27.35
Number of goats with index > 50	21	10	11
Number of goats with index < 50	20	8	12

Comparing dominance indices between the two treatment groups, the t-test showed no significant difference ($p \gg 0.05$).

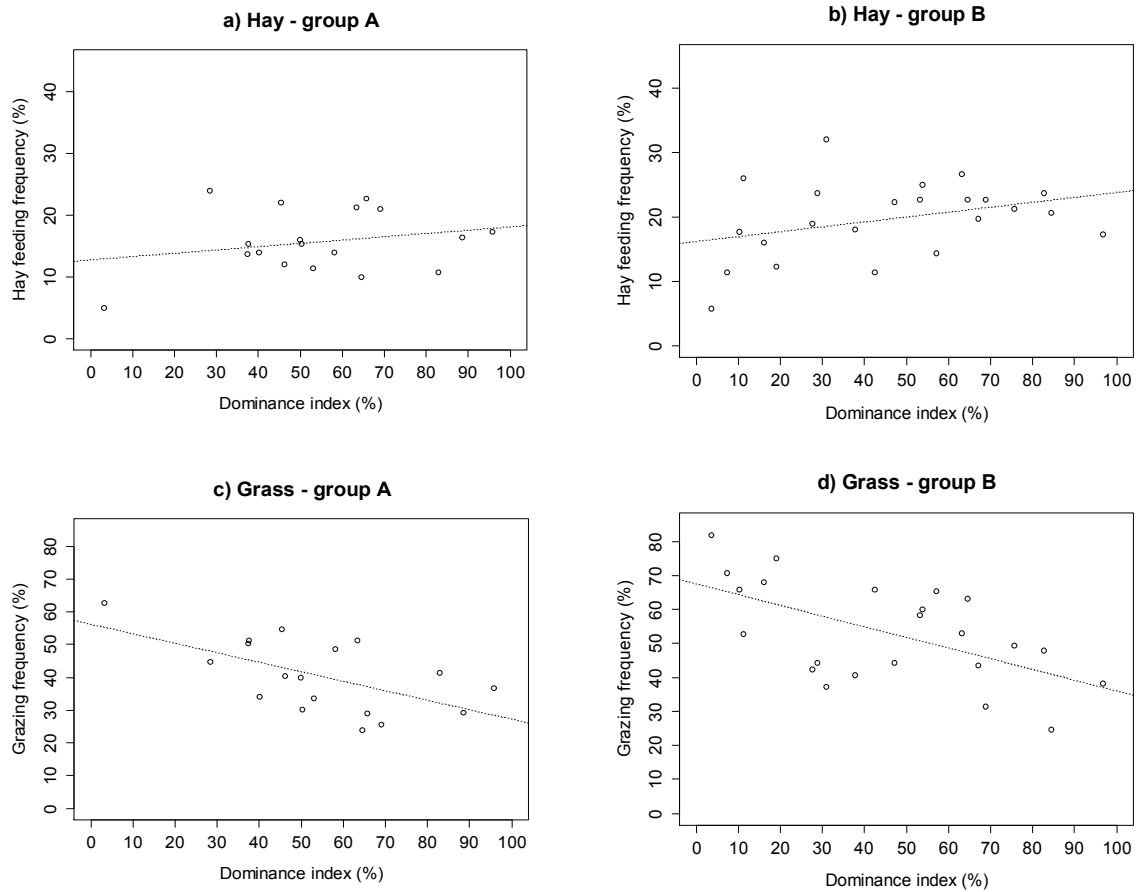


Figure 1: Individual dominance indices and feeding frequencies for each roughage type (hay, grass). Concentrate feeding groups: A (n = 18): ration = 1000 g/d, B (n = 23): ration = 100 g/d; t = 300 sample points per animal and roughage type.

Regarding hay, feeding frequencies in both groups expressed a trend to increase with dominance index (Figures 1a and 1b). Within group A, the correlation was not significant ($r^2 = 5.82\%$, $p > 0.05$), within group B it had a tendency towards significance ($r^2 = 12.01\%$, $0.05 < p < 0.1$).

As to grass, however, feeding frequencies in both groups exhibited a trend to sink with increasing dominance (group A: $r^2 = 35.07\%$, $p < 0.01$; group B: $r^2 = 33.89\%$, $p < 0.01$) (Figures 1c and 1d). Both correlations explained a moderate percentage of the variance observed and were highly significant.

4. Discussion

4.1 Effects of concentrate levels on productivity and nutritional state

Milk yield, milk composition and live weight depend, *inter alia*, on the energy and nutrient content of the animals' feed (cf. Abijaoudé et al., 2000; Goetsch et al., 2001; Görgülü et al., 2003; Morand-Fehr et al., 2007; Amigo and Fontecha, 2011). Milk composition is additionally influenced by the amount of crude fibre, and the fat-to-protein ratio reflects the nutritional state of an animal (Rahmann, 2010). The study animals' diet consisted of three components: concentrate, hay and grass. Of these, concentrate has the highest energy density and is also the most expensive. A positive association between concentrate levels and milk yield in dairy goats has been demonstrated e.g. by Giger-Reverdin et al. (2014) and Volkmann et al. (2014). Haddad (2005) investigated, *inter alia*, the effect of four different hay:concentrate ratios (60:40, 45:55, 30:70, 15:85) on the live weight of 32 goat kids and found a significant positive correlation with the amount of concentrate.

The significant results of the present study support a general, non-linear, positive relation between concentrate amount and productivity with respect to both milk yield and live weight. Group A-goats received ten times (1000 g instead of 100 g) the amount of daily concentrate compared with group B, and the proportion of dry matter in their yearly diet being provided by concentrate was four times that of group B (chapter 2.2). Nevertheless, average 240 days-milk yield of group B was only approx. 17 % lower and average live weight was about 6 % less than that of group A. Regarding live weight, this distortion can in part be directly attributed to group A-animals' excess energy intake being deposited in the form of body fat (e.g. Kirchgeßner, 2014). (Compared with protein, fat has a higher energy density but lower relative weight.) Reaching this threshold also affects milk production, as the additional energy is being converted into body fat instead of milk volume.

Fat-to-protein-ratios did not differ between the feeding groups and, overall within each group nutritional state was balanced. Values of six animals per feeding group were below 1.0. Of these the majority scored between 0.89 and 0.99, two animals (both group A) had ratios of 0.85 and 0.77, pointing in the direction of a deficit in crude fibre. None of the goats exceeded the upper threshold of 1.5, i.e. even for group B-animals no indication of a potential energy deficit became evident. Therefore, we assume that the plant parts which the goats selected from the roughage (hay and grass) were high in energy and low in fibre and hence comparable to concentrate with respect to low crude fibre content (cf. Fedele et al., 2002). Furthermore, it can be concluded that concentrate ration did not affect fat and protein contents of the goats' milk (cf. Min et al., 2005; Pulina et al., 2008). In spite of the somewhat lower (milk) productivity of the concentrate-reduced group, the substantial saving on concentrate could overall be financially advantageous for the farmer.

Moreover, the findings of Sporkmann et al. (2013) and Volkmann (2014) point to an additional economic benefit resulting from qualitative changes in milk composition: Milk and cheese of goats that received 100 g/d concentrate (instead of 1000g/d) contained higher amounts of omega-3-fatty acids and conjugated linoleic acids, which are essential for a healthy human diet. In Volkmann et al.'s work on both milk and cheese (2014), they reached statistical significance for cheese only; in Sporkmann et al.'s study on milk (2013), results were statistically significant.

4.2 Evidence regarding compensatory roughage feeding behaviour

For both treatment groups, hay feeding frequencies were lower than grazing frequencies. This is (at least partly) due to the goats' natural diurnal activity pattern in conjunction with the husbandry routine of stabling them for the night. Hence, hay was accessible only during times when feeding activity is generally reduced (Abijaoudé et al., 2000, Avondo et al., 2013).

The finding that group differences in both productivity parameters were disproportionately smaller than expected on the basis of the different amounts of concentrate fed, suggests a partial compensation in energy supply through roughage feeding. This notion is supported by the finding that group B-members had been encountered feeding hay as well as grass at a significantly higher percentage of sampling points than group A-animals. By altering their roughage feeding behaviour, group B-animals probably invested more time in selecting plant parts of higher energy and/or nutrient density.

In the present study, most likely the high roughage quality ensured that milk contents (fat, protein) were not affected, live weights of group B were not substantially lower than those of group A (cf. Morand-Fehr and Sauvant, 1980; Rapetti et al., 2005) and group difference in milk yield was acceptable.

Despite the energy density of roughage being considerably lower than that of concentrate, e.g., Eknaes and Skeie (2006) have shown the quantity of hay to have an impact on milk yield: 48 goats were allocated to four feeding groups of 12 animals each: they received low (200 g) or high (700 g) daily amounts of concentrate, and were either provided with hay (restricted and ad lib. consecutively) or were grazing. Goats of the low concentrate group significantly reduced milk yield during the time when hay was restricted. Görgülü et al. (2003) found evidence of attempts at compensatory dry matter intake in the barn when comparing 36 lactating goats in four treatment groups (500 g concentrate and hay ad lib., 1000 g concentrate and hay ad lib., a total mixed ration (40 % concentrate and 60 % hay) ad lib., and "free-choice feeding" with concentrate and hay ad lib.). Goats which received the lowest quantities of concentrate (500 g) showed the highest hay intakes.

4.3 Evidence of dominance-related differences in compensatory roughage feeding behaviour

In both treatment groups, hay feeding frequencies showed a trend towards increasing with the height of an animal's dominance index. For group A they did not reach significance; in group B the association was more pronounced and had a tendency towards significance. The opposite pattern emerged for grazing frequencies: In both concentrate feeding groups, grazing frequencies sank significantly with an increase in dominance index.

The fact that the dominance-related patterns which emerged were more distinct in group B than in group A can be attributed to a combination of three factors: Group B was with five members somewhat larger than group A, the distribution across the range of dominance indices was somewhat more even (Figure 1), and group B had a stronger need for acquiring additional energy (and possibly also nutrients) than group A.

Hay and grass differ in the degree to which they can be monopolized in a competitive situation. When hay is being fed from a feeding table restricting access is a resource that can be easily monopolized by dominant herd members. Subordinates are commonly displaced (cf. Nordmann et al., 2015; Jørgensen et al., 2007), consequently having less opportunity to access hay and particularly to select for hay components with high nutrient and energy density. In general, compensatory hay feeding is less accessible to low-ranking individuals. Grass at pasture, however, is a resource that cannot be consistently monopolized by dominant individuals, due to high available space. Consequently, subordinates compensated their lower roughage feeding frequencies in the barn, where dominant animals had prior access to hay, with higher roughage feeding frequencies at pasture.

Goats maintain individual distances to other herd members, with the exact distance depending on the social relationship of the dyad (Aschwanden et al., 2008). At pasture, the possibility to keep sufficiently large distances, inter alia, avoided conflicts (cf. Aschwanden et al., 2008; Barroso et al., 2000). Thus, all animals would have been able to invest more time in undisturbed grazing. Lower ranking animals made pronounced use of this opportunity, and particularly those of group B. Subordinates of group B were at a “double disadvantage” (they not only received less concentrate than subordinates of group A, they also had limited access to hay at the feeding table). Evidence suggests they tried to compensate this “double burden” by investing a higher proportion of time into grazing and, overall, did so with noticeable success.

4.4 Implications of dominance-related, compensatory roughage feeding for farming practice

The complementary pattern of dominance-related compensatory hay and grass feeding behaviour (with dominant individuals mostly using their competitive abilities to secure access to hay, and subordinate animals compensating during grazing) emphasizes the qualitative difference between the two types of roughage "from the goats' point of view". Hay and grass differ with respect to their compensatory properties (not only regarding e.g. density and composition of energy and nutrients); the degree to which they can be monopolized is of relevance, with the pasture playing a crucial role.

Thus, e.g., a lower ratio of hay feeding places:herd members is likely to result in a higher proportion of animals relying on compensatory opportunities at pasture, and, e.g., cut grass being fed from a feeding table (or rack) would not provide an equivalent to grazing at pasture. In husbandry systems with pasture access, the compensatory properties of grazing can be utilized to maximize performance of the entire herd by specifically enhancing the productivity of subordinate individuals.

During the process of optimizing the feeding regime of a husbandry system (by adjusting the various "feeding factors", such as, e.g., concentrate amount, hay quality and quantity, number of feeding places, size of and time spent at pasture) it seems worthwhile to closely monitor the condition and performance of the herd's members. Selecting a number of low-ranking individuals as 'indicators' (rather than monitoring all animals), can substantially reduce the amount of effort required.

5. Conclusions

Substantial reductions of concentrate feed in the diet of high-performing dairy goats are possible without adverse effects on the animals' health. If sufficient good-quality hay and, particularly, grass is provided, a balanced nutritional state is maintained, and negative effects on body weight, and to a lesser extent also on milk yield, are alleviated through compensatory roughage feeding. The dominance-related and complementary properties of this behaviour (with dominant animals primarily benefiting from access to hay and subordinates mostly utilizing the pasture) have a number of potential implications for commercial farming practice. For economic decisions, the behavioural and physiological data need to be appraised in the context of fluctuating prices for milk and concentrate (e.g. wheat). Transfer of the findings on compensatory roughage feeding from goats to closely related species, such as cattle and sheep, has to account for the marked differences in feeding type.

Acknowledgements

We would like to thank Laura Schneider, Daniel Baumgart, Björn Stamer, Carlotta Hoffmann, Lena Weiß, Kerstin Lübbers, Jan Hendrik Moos and Sebastian Wrage for their assistance during data acquisition and -evaluation as well as Ka Schuster, Sabine Dietrich, Peter Hinterstoißer and Hans Marten Paulsen when drafting the manuscript.

References

- Abijaoudé JA, Morand-Fehr P, Tessier J, Schmidely P, Sauvant D (2000) Diet effect on the daily feeding behaviour, frequency and characteristics of meals in dairy goats. *Livest. Prod. Sci.* 64:29-37
- Altmann J (1974) Observational study of behaviour: sampling methods. *Behaviour* 49:225-267
- Amigo L, Fontecha J (2011) Goat Milk. In: Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH (eds) *Encyclopaedia of Dairy Sciences*. San Diego : Academic Press, pp 484-493
- Aschenbach F, Rahmann G (2010) Bedeutung der Raufutterselektionsfähigkeit von Ziegen für ihre Ernährung. *Landbauforsch. Volk. Sonderheft (Special Issue)* 346:91-98
- Aschwanden J, Gygax L, Wechsler B, Keil NM (2008) Social distances of goats at the feeding rack: Influence of the quality of social bonds, rank differences, grouping age and presence of horns. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 114:116-131
- Avondo M, Pagano RI, De Angelis A, Pennisi P (2013) Diet choice by goats as effect of milk production level during late lactation. *Anim.* 7:1113-1118
- Barroso FG, Alados CL, Boza J (2000) Social hierarchy in the domestic goat: effect on food habits and production. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 69:35-53
- Eden SF (1987) Dispersal and competitive ability in the magpie: an experimental study. *Anim. Behav.* 35:764-772
- Eknaes M, Skeie S (2006) Effect of different level of roughage availability and contrast levels of concentrate supplementation on flavor of goat milk. *Small Ruminant Res.* 66:32-43
- FAO (2015) *The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress*. Rome : FAO
- Fedele V, Claps S, Rubino R, Calandrelli M, Pilla AM (2002) Effect of free-choice and traditional feeding systems on goat feeding behaviour and intake. *Livest. Prod. Sci.* 74:19-31
- Gall C (2001) *Ziegenzucht*. Stuttgart (Hohenheim) : Ulmer
- Giger-Reverdin S, Rigalma K, Desnoyers M, Sauvant D, Duvaux-Ponter C (2014) Effect of concentrate level on feeding behavior and rumen and blood parameters in dairy goats: Relationship between behavioral and physiological parameters and effect of between-animal variability. *J. Dairy Sci.* 97:4367-4378

- Goetsch AL, Detweiler G, Sahlu T, Puchala R, Dawson LJ (2001) Dairy goat performance with different dietary concentrate levels in late lactation. *Small Ruminant Res.* 41:117-125
- Görgülü M, Güney O, Torun O, Özuyanik O, Kutlu HR (2003) An alternative feeding system for dairy goats: Effects of free-choice feeding on milk yield and milk composition of lactating suckling Damascus goats. *J. Anim. Feed Sci.* 12:33-44
- Haddad SG (2005) Effect of dietary forage:concentrate ration on growth performance and carcass characteristics of growing Baladi kids. *Small Ruminant Res.* 57:43-49
- Hofmann RR (1989) Evolutionary steps of ecophysiological adaption and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78:443-457
- Lehner PN (1996) *Handbook of Ethological Methods*. Cambridge : Cambridge University Press
- Martin P, Bateson P (2007) *Measuring Behaviour: An Introductory Guide*. Cambridge : Cambridge University Press
- Jørgensen GH, Andersen IL, Bøe KE (2007) Feed intake and social interactions in dairy goats – The effects of feeding space and type of roughage. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 107:239-251
- Kirchgeßner M (2014) *Tierernährung*. Frankfurt: DLG-Verlag
- Min BR, Hart SP, Sahlu T, Satter LD (2005) The effect of diets on milk production and composition, and on lactation curves in pastured dairy goats. *J. Dairy Sci.* 88:2604-2615
- Morand-Fehr P, Sauvant D (1980) Composition and yield of goat milk as affected by nutritional manipulation. *J. Dairy Sci.* 63:1671-1680
- Morand-Fehr P, Fedele V, Decandia M, Le Frileux Y (2007). Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. *Small Ruminant Res.* 68:20-34
- Nordmann E, Barth K, Futschik A, Palme R, Waiblinger S (2015) Head partitions at the feed barrier affect behaviour of goats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 167:9-19
- Pulina G, Nudda A, Battaccone G, Fancellu S, Francesconi AHD (2008) Nutrition and Quality of Goat's Milk. In: Cannas A, Pulina G (eds) *Dairy Goats Feeding and Nutrition*. Wallingford UK : CABI, pp 1-30
- Rahmann G (2004) Gehölzfutter – eine neue Quelle für die ökologische Tierernährung. *Landbauforsch. Volk. Sonderheft (Special Issue)* 272:29-42
- Rahmann G (2009) Performance of organic goat milk production in grazing systems in Northern Germany. *Landbauforsch. Volk.* 59:41-46
- Rahmann G, Oppermann R, Paulsen H M, Weißmann F (2009) Good, but not good enough? Research and development needs in Organic Farming. *Landbauforsch. Volk.* 59:29-40
- Rahmann G (2010) *Ökologische Schaf- und Ziegenhaltung – 100 Fragen und Antworten für die Praxis*. Trenthorst : Institute of Organic Farming (ed)

- Rahmann G, Oppermann R (2010) "Feed less Food" als eine Möglichkeit, die zunehmende Weltbevölkerung zu ernähren. *Landbauforsch. Volk. Sonderheft (Special Issue)* 341:75-84
- Rapetti L, Bava L, Tamburini A, Crovetto GM (2005) Feeding behaviour, digestibility, energy balance and productive performance of lactating goats fed forage-based and forage-free diets. *Ital. J. Anim. Sci.* 4:71-83
- Sporkmann K, Ude G, Bender S, Georg H, Rahmann G (2013) Feed less Food – Minimaler Kraftfuttereinsatz verbessert Fettsäuremuster bei ökologisch gehaltenen Milchziegen. In: Neuhoﬀ et al. (eds) *Ideal und Wirklichkeit – Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung*, 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin : Dr. Köster, pp 548-551
- Sprinthall R C (2003) *Basic Statistical Analysis*. Allyn and Bacon, Boston, MA (quoted in Martin and Bateson, 2007)
- UN (2015) *World Population Prospects – The 2015 Revision. Key Findings and Advance Tables*. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division
- Volkmann A, Rahmann G, Knaus W (2014) Fatty acid composition of goat milk produced under different regimes and the impact on goat cheese. In: Rahmann G, Aksoy U (eds) *Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference, 'Building Organic Bridges', Organic World Congress 13-15 Oct. 2014 in Istanbul*, pp 551-554
- WWF (2014) *Fleisch frisst Land – Ernährungsweisen, Fleischkonsum, Flächenverbrauch*. Berlin : WWF

4 Manuscript III

Title

Types of dry-roughage feeding in young goats following introduction into the adult herd – behavioural patterns associated with avoiding competition from established members

Authors

Sybille Schaefer^{a,b}, Laura Schneider^a, Gerold Rahmann^b, Anja Wasilewski^a

^a Philipps-Universität Marburg, Faculty of Biology, Department of Zoology, Karl-v.-Frisch-Str. 8, 35043 Marburg, Germany

^b Institute of Organic Farming, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries (TI), Trenthorst 32, 23847 Westerau, Germany

Abstract

This empiric study investigates hay and straw consumption behaviour of young female goats (n=16) after their introduction into the adult herd (n=41).

Over 12 weeks, a total of 174h of focal animal data was collected under commercial husbandry conditions in a loose-housing system during preferred hay feeding times of the established herd members. Durations of the young goats' feeding behaviour bouts were quantified to the nearest second. Four behaviour categories were differentiated, which differed with respect to their degree of spatial conflict avoidance.

Focal animals comprised horned and genetically hornless individuals (7+9). They had been introduced into the herd of horned adult females in two consecutive batches (10+6; batch membership based on weight).

Data were analyzed at group and individual level and compared between two 6-week periods. Amounts of overall feeding times and proportions of the categories were calculated. In both periods, individual quantitative combinations of categories varied; feeding types, however, could be identified. Between periods, changes in composition of feeding behaviour were diverse among individuals but coherent at group level.

Owing to the explorative nature of the study, descriptive methods were used to examine potential associations of feeding patterns with individual-specific factors.

Keywords: Hay, straw, loose-housing, feeding categories, feeding types, conflict avoidance, weight, horns

1. Introduction

In domestic ungulates, herd members compete over access to feed including hay. Intensively farmed dairy goats are usually kept in systems with loose-housing barns, where hay is provided in racks and/or from a feeding table. Even when hay is provided *ad libitum* (i.e. throughout the entire time the herd spends in the barn) animals compete over access. Dominant individuals feed at the preferred times and feeding places, whereas subordinate animals are frequently displaced (Aschwanden et al. 2009, Nordmann et al. 2015). Particularly in systems where (or at times when) low-competition feeding opportunities such as access to pasture are not available, low-ranking individuals run the risk of not being able to meet their nutritional requirements, with negative consequences for both, the animals' productivity and their welfare (Barroso et al. 2000).

Precautionary measures, taken to enhance access to hay for individuals of low competitive abilities and to reduce conflicts, include provision of excess feeding places (ideally more places than herd members, Jørgensen et al. 2007) and partitioning the lengths of the feeding table with palisades and vertical screens between the feeding places (Nordmann et al. 2015). These measures alleviate but do not eliminate competition and conflict.

Both increase at times when, due to inevitable commercial husbandry practice, herd composition is altered and the social structures are destabilized (goats: Addison & Baker 1982, Slavnitsch 2008, Patt et al. 2012, Patt 2013a, sheep: Sevi et al. 2001, cattle: Kondo et al. 1984). Compared to re-grouping or re-introduction of familiar herd members, the introduction of novel conspecifics results in a far more pronounced increase in intensity and frequency of agonistic interactions, as dominance relations have to be determined through physical combat (Addison and Baker 1982, Patt et al. 2013b). Newly introduced animals have been shown to suffer from substantial distress (goats: Patt et al. 2012, Patt 2013a, sheep: Sevi et al. 2001, cattle: Mench et al. 1990).

The common practice to introduce replacement animals at a young age reduces the associated risks (Patt 2013), since fights are more severe the more evenly matched the opponents are (Jensen 1994). Young goats do not match adults with respect to both, their fighting abilities (physical strength, combat weight) as well as the associated physical features (girth, height at withers, horn size (e.g. Schein and Fohrman 1955, Guhl and Atkeson 1959, Lindberg 2001, Bouissou 2001).

This practice is beneficial at herd level but puts the young replacements at a double disadvantage: Upon entering the main herd they are confronted with a preponderance of unfamiliar conspecifics and hence a large number of dyadic dominance relations that need to be determined, which entails extra energy expenditure. Due to their lower competitive

abilities, their access to feed and thus their chances of energy intake are restricted. The young replacements need to find ways to cope with this 'dilemma'.

One way of reducing competition and conflicts is through temporal avoidance, i.e. visiting the feeding table at times when the established herd members are finished (Mendl and Deag 1995, Jørgensen et al. 2007). Spatial avoidance can be another way. Further insights into the behavioural patterns that alleviate, evade and/or bypass conflicts and competition during the preferred feeding times require a detailed, differentiated investigation into the replacement goats' hay feeding behaviour over an extended period of time.

The present study differentiates four categories of dry-roughage feeding behaviour (including the consumption of bedding straw) and compares them over two periods of time with respect to three aspects.

Aspect 1) is addressed at group level (i.e. all 16 replacements considered as one entity), aspects 2) and 3) at individual level:

- 1) proportions of feeding categories
- 2) diversity of individual feeding patterns (quantitative combinations of categories)
- 3) associations between feeding patterns and individual-specific characteristics

From the economic perspective of overall herd productivity, every herd member must be able to meet their feed-intake requirements. An enhanced understanding of the young goats' dry-roughage feeding behaviour can benefit both, their welfare and overall economic performance by contributing to husbandry measures which minimize the inevitable detrimental consequences associated with introduction into an unfamiliar herd.

2. Animals, materials and methods

2.1 Study area

The Thuenen-Institute of Organic Farming is situated in Trenthorst in Schleswig-Holstein (Northern Germany). Data collection was conducted at the research station in Wulmenau (3.5km from Trenthorst) and comprised two observation periods of six weeks each, separated by a two-week gap: Period 1: 11/11/2013 to 22/12/2013; Period 2: 06/01/2014 to 16/02/2014.

2.2 Animals, housing conditions and feeding management

The 16 young replacement dairy goats had been bought in approx. 4 to 7 months prior to introduction and had been kept in a separate part of the building without visual contact. For quick and unambiguous identification during direct observation, individual numbers (one to two figures, roughly one DIN-A4 page per figure in size) had been bleached laterally into the goats' brown coat (with H₂O₂).

Based on their weight (on 21/10/2013), they were assigned to two batches and introduced consecutively into the 41-head milker herd: Batch 1 (n=10; Animal Numbers 60-69) comprised the individuals weighing 30kg or more. They were introduced during the time the breeding male was present in the main herd to be covered. The lighter animals formed Batch 2 (n=6; Animal Numbers between 70 and 77) and joined the herd three weeks later, after the male had been removed. Observations started with the introduction of Batch 2.

All goats were of the breed 'German Improved Fawn' ('Bunte Deutsche Edelziege') and were kept under organic husbandry conditions (EU-organic-regulation N° 889/2008 with code of practice N° 834/2007). All adult goats were horned, the majority of the young replacements (9 of 16) were genetically hornless (5 in Batch 1; 4 in Batch 2). At the beginning of the study, the replacements were approx. eight months old (date of birth: between 09/02/2013 and 14/04/2013) and the adult goats between two and seven years.

During the entire study period, the herd spent half the day at pasture (approx. 5 to 6h) and were stabled for the night in a loose-housing barn. Per goat, the loose-housing barn provided a space of approx. 6.0m² plus 2.1m² in the adjacent outdoor run (with concrete floor). Water and mineral feed were accessible ad libitum.

Hay was fed ad libitum from an oblong feeding table (2x16 m, 40cm per feeding place) in the centre of the barn. The long sides were partitioned with wooden palisade feeding fences (about 1.4 places per goat), one short end was built right up against the wall of the barn and was inaccessible. The other short end (width: approx. 2m) was closed off with mobile metal hurdles. The goats received fresh hay twice a day.

2.3 Data collection and processing

2.3.1 Dry-roughage feeding behaviour

Data were collected by direct observation of the 16 young replacement goats and did not include the behaviour of the 41 established herd members.

Focal Animal Sampling (Altmann 1974, Naguib 2006, Martin & Bateson 2007) was used for Continuous Recording of individual dry-roughage feeding behaviour. Focal Animal

Sampling took place in the barn at times of day with high general and feeding activity between approx. 7:00h and 10:00h and between approx. 15:00h and 19:00h. Every focal animal was observed for one continuous hour and the duration of each bout of dry-roughage feeding was registered to the nearest second. The order in which focal animals were observed was initially randomized and subsequently systematically varied in order to obtain datasets balanced for time of day and observation period.

Focal Animal observations covered an effective total of 174 h (≥ 5 h per animal and observation period; 85:34h in Period 1, 88:28h in Period 2).

For all observations, the observer had an elevated position, from where she could monitor nearly the entire loose-house area without disturbing the behaviour of the animals. Only the outside run and two corners inside the barn were shielded from view. Access to the outside run was closed during observation times. Periods when the focal animal was out of sight were recorded as 'time out' to the nearest second (Altmann 1974, Martin & Bateson 2007). If the focal animal was out of sight for longer than 2 minutes, the observer changed her location and resumed her observations. Prior to all subsequent calculations, 'time outs' were subtracted from an animal's total observation time.

Dry-roughage feeding behaviour was differentiated into four categories (in order of increasing 'conflict evasiveness'):

- "feeding normally": feeding hay at the long sides of the feeding table, with a relaxed body posture and speed of feed intake, only infrequently raising the head
- "feeding vigilant": feeding hay at the long sides of the feeding table, with tense body posture and fast feed intake, frequently raising the head and \pm permanently monitoring the surroundings
- "feeding through the barrier": feeding hay at the short end of the feeding table by inserting the head through a space between the horizontal bars of the metal hurdles
- "feeding straw": consuming bedding material from the floor anywhere in the barn.

All data were analyzed separately for the two observation periods. The amount of time spent in each category was totalled at individual and at group level (i.e. all 16 replacement goats as one entity) and proportions of entire observation time were calculated accordingly.

Individual proportions of the categories of dry-roughage feeding behaviour were visualized as pie-charts. Only datasets of animals with a total feeding time of at least 25min (approx. 8% of the individual focal animal observation time per period) per observation period were included. To identify consistent patterns, the diversity of charts was sorted

according to their largest sector along two dimensions: its category (in short referred to as 'normal', 'vigilant', 'barrier' and 'straw') and within the category in sequence of increasing size of the sector. The diversity of individual patterns was divided into mutually exclusive feeding types:

- Primary Types are characterized by the predominant sector exceeding 50%. They are further differentiated into moderate forms (50% to $\leq 75\%$) and pronounced forms ($> 75\%$).
- The Mixed Type comprises cases, in which all categories are below 50%. They are subdivided according to the number of dominant categories. Only sectors of $\geq 8\%$ are considered appreciable.

The four Primary Types and the Mixed Type are also referred to as Major Types.

2.3.2 Live weights

Individual live weights were recorded once a month to the nearest 100g with a mobile electronic set of scales. For each animal and observation period, the two consecutive measurements were averaged. For the assignment to weight classes, values were rounded to the nearest kg. For evaluations of weight development, absolute individual differences between the two periods were calculated and expressed as the percentage of the individual's weight in Period 1; values were rounded to the nearest percent.

2.3.3 Statistical analyses

For each focal animal and observation period, absolute and relative times spent in each category of dry-roughage feeding behaviour were calculated. All calculations were conducted using Microsoft® Excel and the software package "R 3.2.1".

Due to the predominantly explorative nature of the present study (a basic, empiric investigation under commercial husbandry conditions), and the limited sample size ($n=16$; in differentiating comparisons effective $n \geq 6$ (Integration Batch) descriptive methods only were considered appropriate.

3. Results

3.1 Feeding category proportions (group level)

The following evaluations are based on the entity of all 16 young replacement goats (group level) and the total amount of observation time per period (≥ 5 h per focal animal x 16 focal animals = 86h and 88h in Period 1 and 2, respectively).

Table 1: Total amount of time spent per dry-roughage feeding category (group level). Amounts are totalled over the entire group of young replacement goats (n=16). Absolute amounts are based on a total of 85:37:00h (Period 1) and 88:28:27h (Period 2) observation time per period. Proportions of feeding categories are expressed as percentages of the total time spent with dry-roughage feeding. Categories: normal="relaxed" feeding at the feeding table, vigilant=feeding vigilant at the feeding table, barrier=feeding through the barrier at the short end of the feeding table, straw=feeding straw from the floor anywhere in the barn. n.a.=not applicable.

Feeding Category	Period 1		Period 2		Difference between Periods
	Absolute (h:min:s)	Proportion (%)	Absolute (h:min:s)	Proportion (%)	
Normal	2:20:14	17.13	3:39:23	13.56	-3.56
Vigilant	2:18:35	16.92	10:22:10	38.46	21.54
Barrier	1:30:04	11.00	2:38:50	9.82	-1.18
Straw	7:29:59	54.95	10:17:15	38.16	-16.79
Sum	13:38:52	100	26:57:38	100	n.a.

The absolute amount of time spent within the daytime hours between approx. 7:00h and 10:00h and between approx. 15:00h and 19:00h with feeding dry-roughage doubled from Period 1 to Period 2 (13h 39min to 26h 58min) (Table 1).

In Period 1, feeding straw accounted for over 50%; in Period 2, feeding straw and feeding vigilant were equally predominant with 38% each.

The most pronounced change from Period 1 to Period 2 was an increase by approx. +22% of feeding vigilantly (Table 2). The largest compensatory decrease occurred in the proportion of feeding straw, accounting for approx. -17%. The alterations in feeding normally and particularly in feeding through the barrier were \pm negligible (4% and 1%, respectively).

3.2 Individual feeding patterns

3.2.1 Diversity of feeding patterns

In Period 1, animal No. 62 fed considerably less than 25min (approx. 8% of the individual focal animal observation time per period) and was therefore excluded from feeding pattern analyses (cf. chapter 2.3.1). In Period 2, all animals exceeded the threshold value and were included for further analyses.

In Observation Period 1 (Figure 1a), the predominant behaviour of the vast majority of animals was assigned to the category feeding straw (11 of the 15 above the cut-off criterion). Furthermore, for different goats, proportions of behaviour assigned to this category varied widely from 35% to 94%. Behaviour of just three animals was mostly assigned to the category feeding normally and one animal exhibited behaviour mainly categorized as feeding through the barrier and percentages centred \pm around the 50%-line. In Period 1, behaviour defined as feeding vigilant was rarely observed with proportions of <25% for each goat, i.e. not a single goat had feeding vigilant as the predominant category.

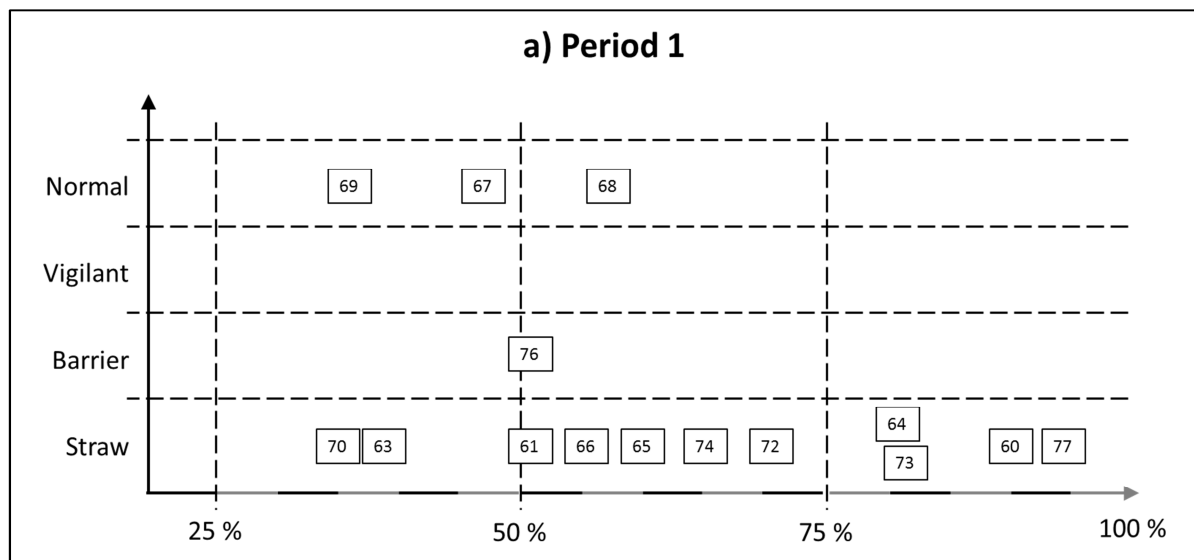


Figure 1a: Feeding patterns in Period 1 (a) and Period 2 (b). X-axis = percentage of the respective feeding categories, stripes = 5% increment. Y-axis = feeding categories: normal = "relaxed" feeding at the feeding table, vigilant = feeding vigilant at the feeding table, barrier = feeding through the barrier at the short end of the feeding table, straw = feeding straw from the floor anywhere in the barn. Numbers in the boxes = animals.

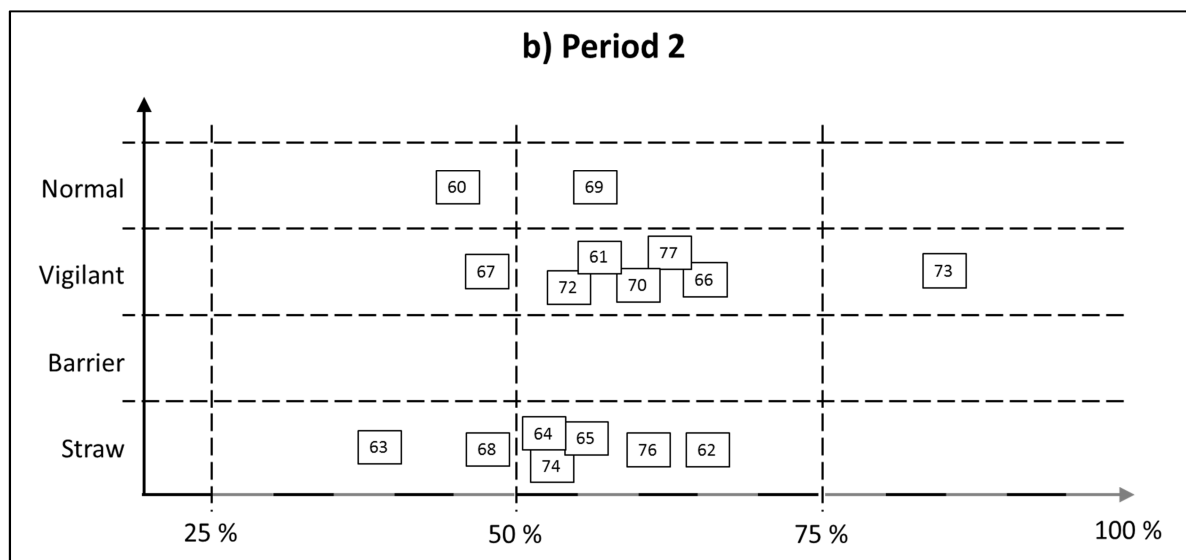


Figure 1b: Feeding patterns in Period 1 (a) and Period 2 (b). X-axis = percentage of the respective feeding categories, stripes = 5% increment. Y-axis = feeding categories: normal = "relaxed" feeding at the feeding table, vigilant = feeding vigilant at the feeding table, barrier = feeding through the barrier at the short end of the feeding table, straw = feeding straw from the floor anywhere in the barn. Numbers in the boxes = animals.

In Period 2 (Figure 1b), feeding straw as well as feeding vigilant constituted the predominant behavioural feeding categories observed in almost half the herd members (7 individuals each). Overall, feeding vigilant has a tendency towards slightly higher proportions than feeding straw (spanning 48% to 65% vs. 38% to 66%), and the only individual with a percentage above 75% exhibited feeding vigilant as the predominant category. Feeding normally dominates in just two animals (again centred around 50%), and feeding through the barrier does not feature as the main component.

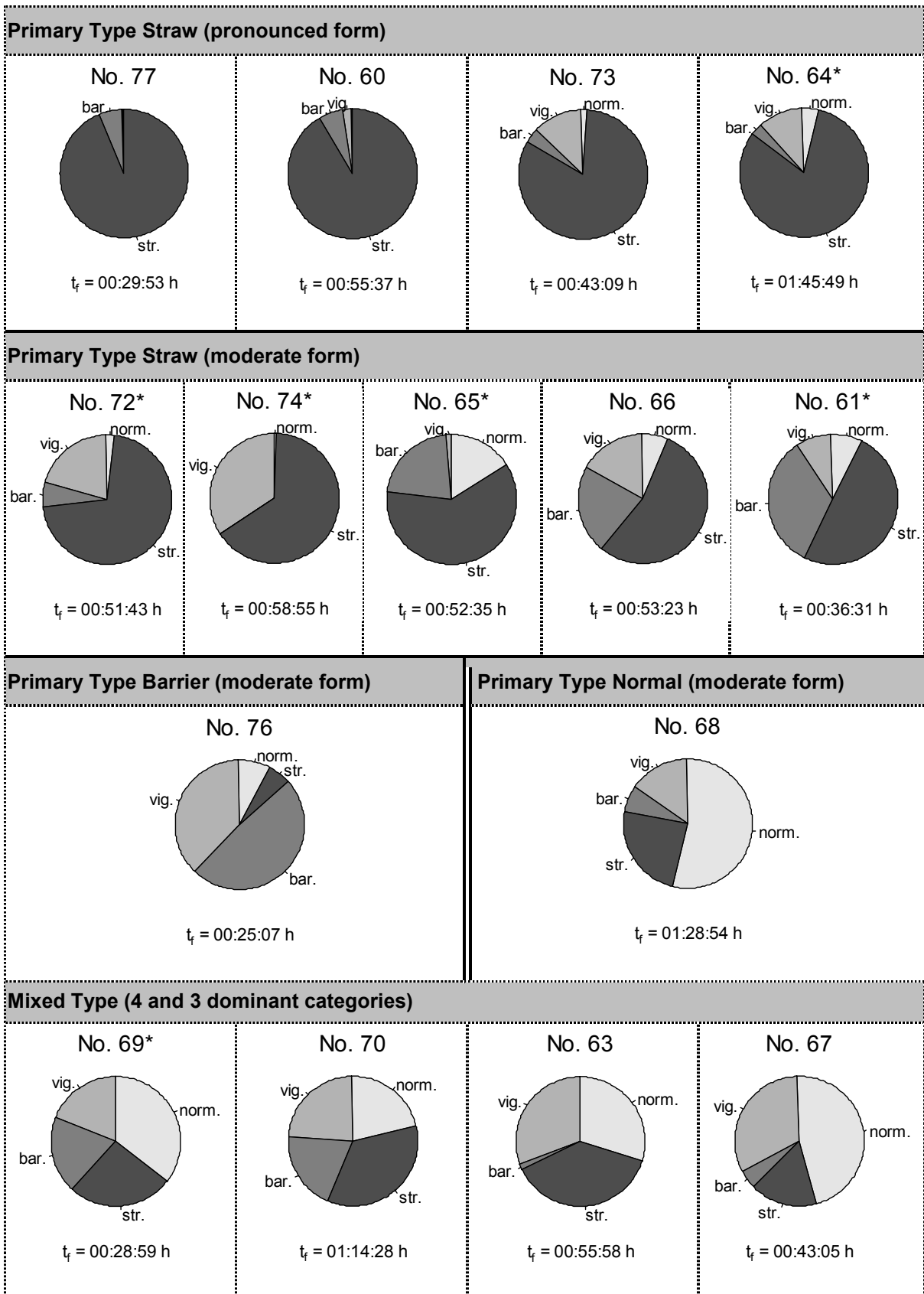
The most pronounced changes from Period 1 to 2 comprise a 'centralization' of the individuals with respect to both dimensions of the plot: a marked shift in numbers from feeding straw to feeding vigilant and an accumulation in the region between approx. 45% and 65%.

3.2.2 Feeding types

For each observation period, five feeding types were identified (cf. chapter 2.3.1). These were, however, not necessarily identical between periods.

In Period 1 (Figure 2), all categories except vigilant featured as primary types, though feeding through the barrier and feeding normally in just one case each and only in moderate form. Primary Type Straw was by far the most numerous (9 of the 15 goats that had passed the cut-off criterion) and the only one reaching the intensity classes of moderate and pronounced form (5 and 4 cases, respectively). The Mixed Type was

represented by four animals; two of them exhibited all four categories in an appreciable degree, in the other two feeding through the barrier occurred only to a negligible extent.

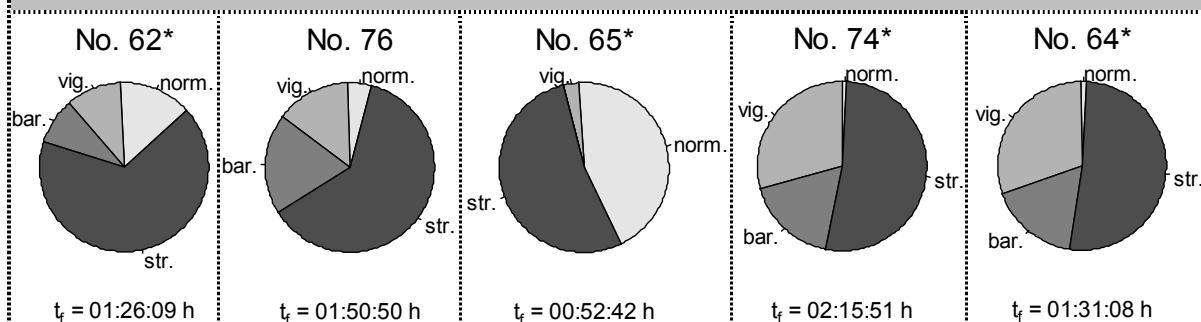


For figure legend please see next page.

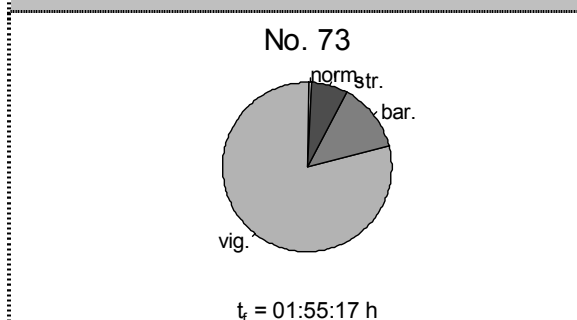
Figure 2: Feeding types in Observation Period 1. Individual pie charts give percentages of dry-roughage feeding behaviour categories. Primary Types (largest sector $\geq 50\%$) with moderate form 50% to $<75\%$ and pronounced form $\geq 75\%$; within Primary Types, charts are sorted by the category and size of their largest sector. Mixed Type = all subcategories $<50\%$; sequence within this type according to the number of dominant ($\geq 8\%$) categories and evenness of proportions. No.=Animal number; asterisk (*)=horned. Feeding categories: norm.=normal, "relaxed" feeding at the feeding table, vig.=vigilant feeding at the feeding table, bar.=feeding through the barrier at the short end of the feeding table, str.=feeding straw from the floor anywhere in the barn; t_t =total time (h=hours) spent with feeding dry-roughage. In total, each animal was observed for a minimum of five hours per period (focal animal sampling). In Period 1, Animal no. 62 was excluded from analyses due to insufficient amount of data (<25 minutes of dry-roughage feeding behaviour within 5h focal animal observations).

In Period 2 (Figure 3), measurements of all categories but feeding through the barrier were classified as Primary Types, albeit feeding normally in only one case (and in moderate form). The vast majority of group members (11 of the 16 individuals) were assigned to Primary Types Vigilant and Straw and in similar proportions (6 and 5 cases, respectively). Primary Type Vigilant included the only animal in Period 2 for which the proportion of a category was classified as pronounced. Four animals showed behaviour consistent with the Mixed Type. Three of these exhibited three categories to an appreciable extent ($\geq 8\%$) (in two cases feeding through the barrier was negligible, in the third feeding normally did not occur). The fourth animal expressed only two categories to a noticeable extent (feeding through the barrier as well as feeding straw were negligible).

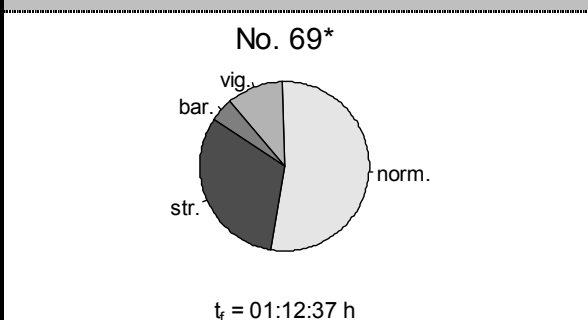
Primary Type Straw (moderate form)



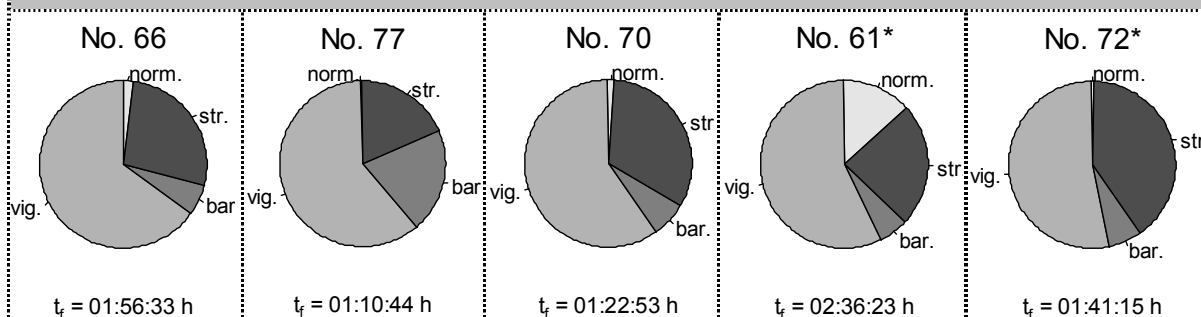
Primary Type Vigilant (pronounced form)



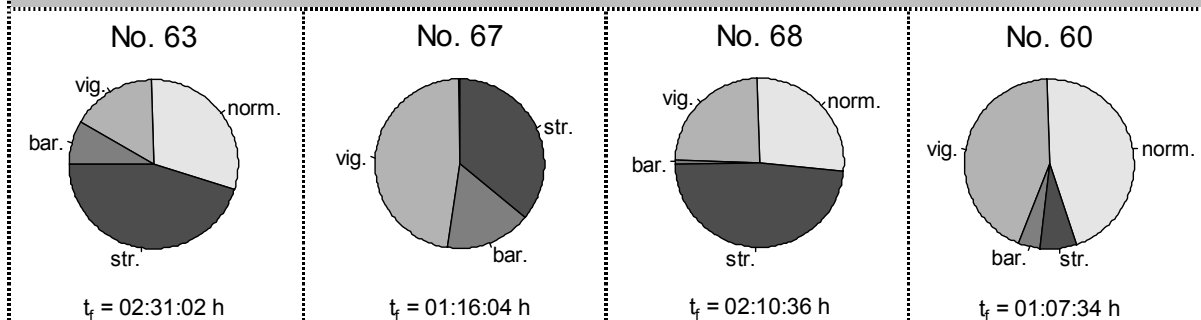
Primary Type Normal (moderate form)



Primary Type Vigilant (moderate form)



Mixed Type (3 and 2 dominant categories)



For figure legend please see next page.

Figure 3: Feeding types in Observation Period 2. Individual pie charts give percentages of dry-roughage feeding behaviour categories. Primary Types (largest sector $\geq 50\%$) with moderate form 50% to $<75\%$ and pronounced form $\geq 75\%$; within Primary Types, charts are sorted by the category and size of their largest sector. Mixed Type = all subcategories $<50\%$; sequence within this type according to the number of dominant ($\geq 8\%$) categories and evenness of proportions. No.=Animal number; asterisk (*)=horned. Feeding categories: norm.=normal, "relaxed" feeding at the feeding table, vig.=vigilant feeding at the feeding table, bar.=feeding through the barrier at the short end of the feeding table, str. = feeding straw from the floor anywhere in the barn; t_t =total time (h=hours) spent with feeding dry-roughage. In total, each animal was observed for a minimum of five hours per period (focal animal sampling).

From Observation Period 1 to Period 2, for all but five animals allocation to the Major Feeding Types changed (Table 2). Two of these five were classified as the Mixed Type (one changed the dominant category within the type), the other three as Primary Type Straw (one changed the form within the type). The individual transitions between feeding types in Period 1 and 2 vary; most commonly (five cases) animals were reassigned from Primary Type Straw to Primary Type Vigilant.

Table 2: Individual changes in feeding type.

Dry-roughage feeding categories: normal = "relaxed" feeding at the feeding table, vigilant = feeding vigilant at the feeding table, barrier = feeding through the barrier at the short end of the feeding table, straw = feeding straw from the floor anywhere in the barn. Primary Types: dark grey = pronounced form, light grey = moderate form; Mixed Type = white (dominant category in brackets). Bold face = individuals maintaining their Major Feeding Type. (Data of animal No. 62 were insufficient in Period 1.)

Animal Number	Feeding Type Period 1	Feeding Type Period 2
60	straw	mixed (normal)
61	straw	vigilant
62	---	straw
63	mixed (straw)	mixed (straw)
64	straw	straw
65	straw	straw
66	straw	vigilant
67	mixed (normal)	mixed (vigilant)
68	normal	mixed (straw)
69	mixed (normal)	normal
70	mixed (straw)	vigilant
72	straw	vigilant
73	straw	vigilant
74	straw	straw
76	barrier	straw
77	straw	vigilant

3.4 Feeding patterns vs. individual-specific characteristics

3.4.1 Feeding patterns vs. introduction batch and horn status

To examine potential associations of feeding patterns with time of introduction (Batch 1 vs. Batch 2) and/or the possession of horns, the distribution of these characteristics across the herd members was projected onto the 2-dimensional feeding pattern plots (Figure 4).

In Observation Period 1 (Figure 4a), the vast majority of members of both introduction batches (11 of the 15 goats with sufficient data) engaged mostly in feeding straw (Batch 1: six of nine; Batch 2: five of six). Within this category, Batch 2-members (symbolized by circles) overall tended to have higher proportions than Batch 1-goats (represented as boxes). The distribution of batches across the remaining categories shows that all three remaining Batch 1-members exhibited feeding normally as the largest sector, whereas the one remaining Batch 2-animal fed through the barrier. Regarding possession of horns, data of horned individuals of both batches clustered in and bordered on both ends of the moderate region of Primary Type Straw.

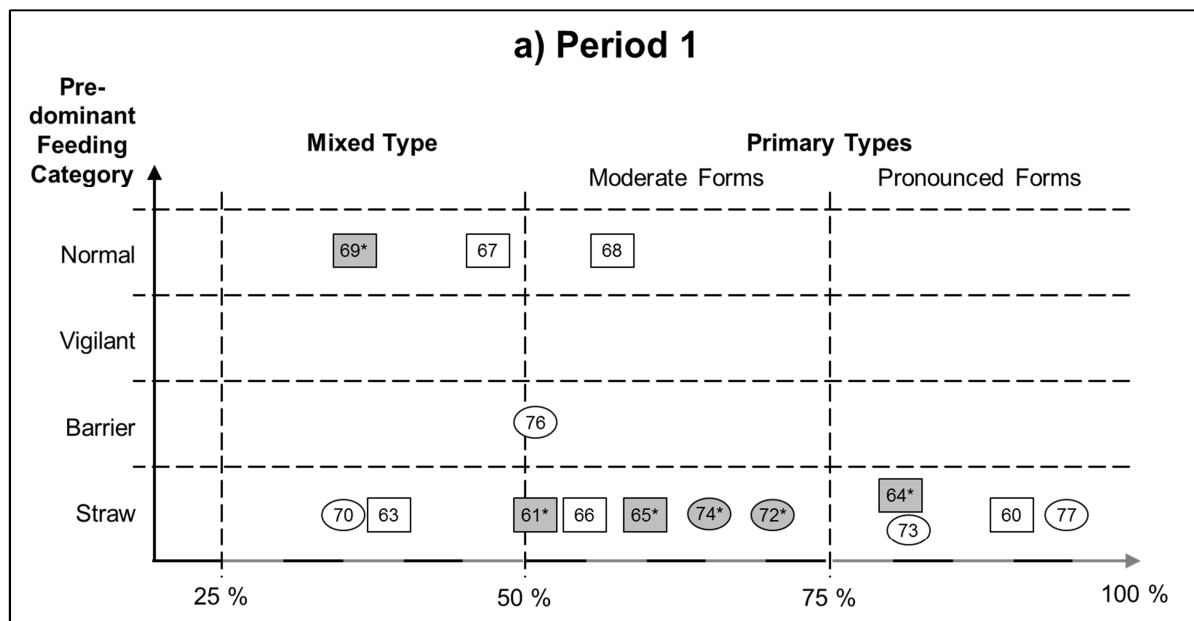


Figure 4a: Distributions of batch membership and horn status across feeding patterns. a) Period 1, b) Period 2. Boxes=Integration Batch 1, Circles=Integration Batch 2. Batch 1 had been introduced 3 weeks before Batch 2 and comprised animals of initially ≥ 35 kg. Asterisk (*) and grey filling=horned. X-axis=percentage of the respective feeding categories, stripes=5% increment. Y-axis=feeding categories: normal="relaxed" feeding at the feeding table, vigilant = feeding vigilant at the feeding table, barrier=feeding through the barrier at the short end of the feeding table, straw=feeding straw from the floor anywhere in the barn. Numbers in the boxes=animals.

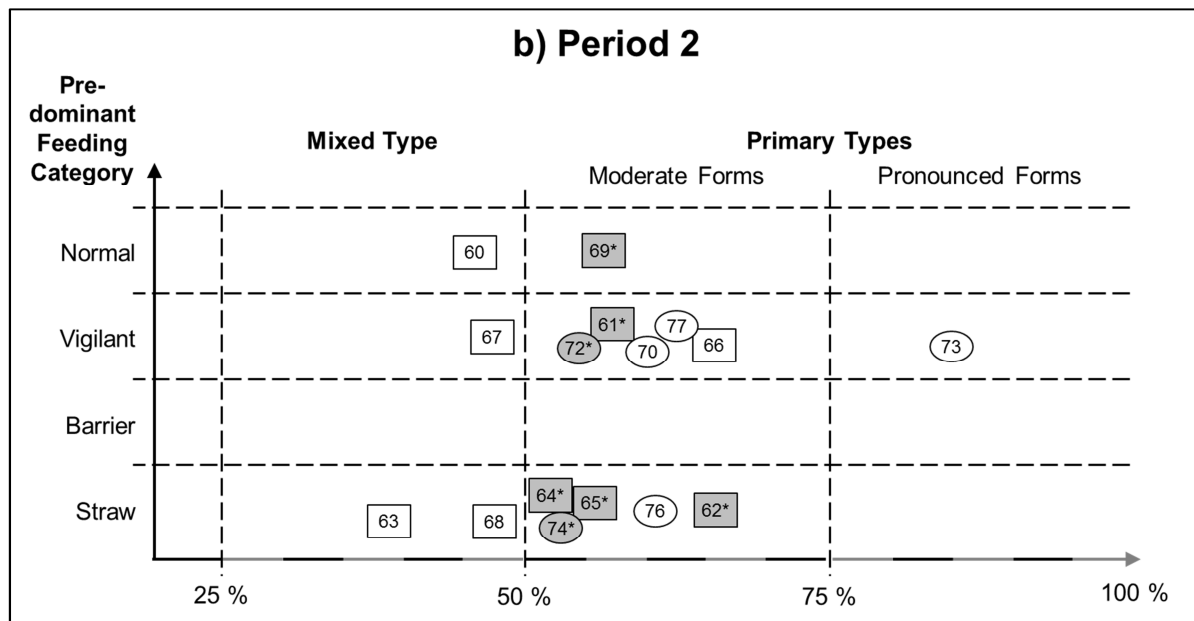


Figure 4b: Distributions of batch membership and horn status across feeding patterns. a) Period 1, b) Period 2. Boxes=Integration Batch 1, Circles=Integration Batch 2. Batch 1 had been introduced 3 weeks before Batch 2 and comprised animals of initially ≥ 35 kg. Asterisk (*) and grey filling=horned. X-axis=percentage of the respective feeding categories, stripes=5% increment. Y-axis=feeding categories: normal="relaxed" feeding at the feeding table, vigilant = feeding vigilant at the feeding table, barrier=feeding through the barrier at the short end of the feeding table, straw=feeding straw from the floor anywhere in the barn. Numbers in the boxes=animals.

In Observation Period 2 (Figure 4b), a vertical zoning pattern becomes evident with respect to the combination of batch number and horn status.

The Mixed Type was exclusively represented by hornless Batch 1-animals (four cases). Data of only a single animal (a hornless member of Batch 2) met the criterion of 'pronounced form' of a primary type (in this case, Primary Type Vigilant). The majority of individuals of both batches (five of Batch 1 and 2, respectively) was assigned to the moderate band of Primary Types. Within this region and irrespective of the predominant category (in five cases straw, five cases vigilant, one case normal) and batch number, hornless individuals tend to have higher percentages of the predominant behaviour. Thus, overall, Batch 1-animals tended to exhibit more 'balanced' feeding patterns than Batch 2-members. Furthermore, within Batch 1, hornless individuals had less biased patterns, whereas within Batch 2, horned individuals were closer to a 'balanced' pattern.

3.4.2 Feeding patterns vs. weight

In Observation Period 1, the average weight of the 16 replacement goats was approx. 32kg; individual weights varied considerably by up to roughly 13kg, with values covering approx. 25kg to 37kg (Table 3). In Observation Period 2, both, weight and variability, had increased: average weight had risen by approx. 3kg to 35kg; individual values now varied by up to approx. 18kg, spanning a range of roughly 26kg to 44kg.

Table 3: Live weights.

	Weight (kg) Period 1	Weight (kg) Period 2
Mean \pm Standard Deviation	32.29 \pm 3.54	35.37 \pm 5.89
Minimum - Maximum	25.45-37.15	25.85-43.55

To examine potential associations between feeding patterns and weight, live weights and weight changes were divided into classes and projected onto the 2-dimensional feeding pattern plots (Figure 5). Absolute weights (Period 1, Period 2) were assigned to four weight classes in 5 kg-steps: low (<30kg), medium (30kg to <35kg), high (35kg to <40kg) and very high (\geq 40kg).

In Period 1 (Figure 5a), the live weights of all replacement goats were well below 40kg (25-37kg; Table 3) and hence none of them was classified as very high. The distribution of the weight classes across the feeding patterns and feeding types (Figure 5a) is not unequivocal, however, clusters become evident.

Overall, in Period 1 the weight classes differ more strongly with respect to the horizontal axis of the plot, i.e. the percentage of the predominant feeding categories (rather than the vertical axis, i.e. the very nature of the categories). The band below and touching on 50% comprises mostly animals of medium weight; the area around 50% up to roughly 60% corresponds with goats of high weight; values above approx. 60% comprise mostly low weight animals.

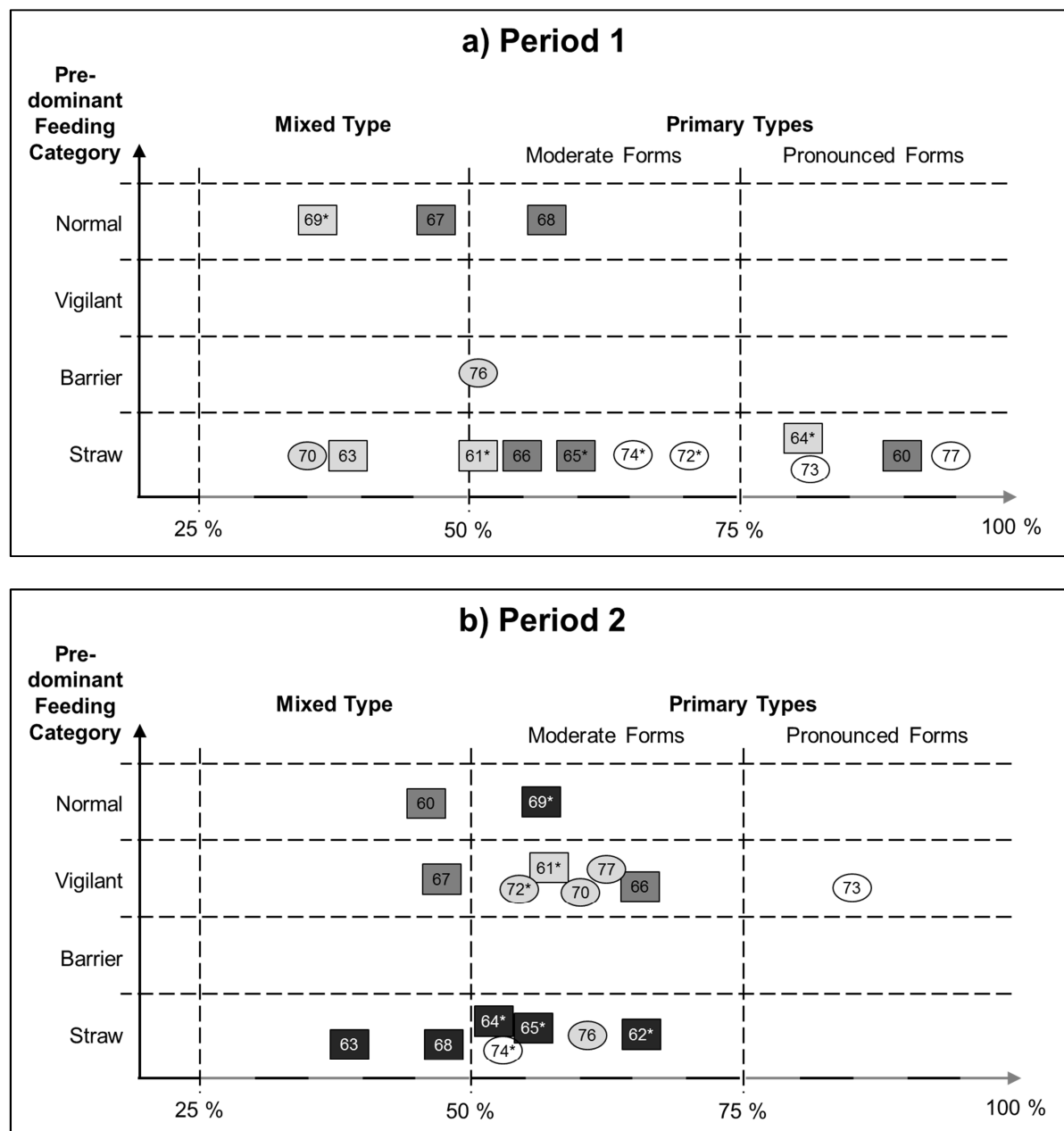


Figure 5a+b: Distribution of live weight classes across feeding patterns. a) Period 1, b) Period 2. Boxes=Integration Batch 1, Circles=Integration Batch 2. Batch 1 had been introduced 3 weeks before Batch 2 and comprised animals of initially ≥ 35 kg. Asterisk (*)=horned. X-axis=percentage of the respective feeding categories, stripes=5% increment. Y-axis=feeding categories: normal="relaxed" feeding at the feeding table, vigilant=feeding vigilant at the feeding table, barrier=feeding through the barrier at the short end of the feeding table, straw=feeding straw from the floor anywhere in the barn. Numbers in the boxes=animals. Tones of grey=grade of weight differences in 5kg-steps: white=low (<30kg), light grey=medium (30kg to <35kg), middle grey=high (35kg to <40kg) and dark grey=very high (≥ 40 kg).

In Period 2 (Figure 5b), live weights of the replacement goats cover a far greater range (26-44kg; Table 3) and thus all four weight classes. Again, weight classes have a tendency to form clusters (Figure 5b). In Period 2, the overall distribution of weight classes differs more strongly with regard to the vertical axis of the plot, i.e. the nature of the predominant feeding category, and shows a more pronounced correspondence with different feeding types: Feeding straw comprises mostly individuals of very high weight, whereas feeding vigilant contains goats of medium weight, flanked by two individuals with high weight. The two animals with feeding normally as their prominent category have high and very high weights. The two goats of low weight show no consistent pattern and include one conspicuous outlier (the only individual in Period 2 being classified as a Primary Type in pronounced form).

4. Discussion

4.1 Proportions of feeding categories at group level

Data on the dry-roughage feeding behaviour of the 16 young replacement goats had been collected during those times of day when competition from the 41 established adult herd members was most pronounced. The totalled amount of time which the replacement goats spent consuming dry-roughage came to roughly 13 ½h out of 86h (Period 1) and 27h out of 88h (Period 2). For these '(part)-time budget' proportions of approx. 16% and 31%, respectively, no directly comparable values are available from the literature. They are, however, in concordance with findings from Patt et al. (2012) of markedly low feeding durations of goats immediately after introduction. Dry-roughage feeding behaviour outside these time bands (i.e. hay consumption at night and grazing behaviour at pasture) was not recorded. Weight and weight change data (chapter 4.3.2), however, suggest that the young goats obtained a considerable amount of their roughage intake during those times; i.e. they resorted to temporal avoidance s.str. (feeding hay at times when the dominant herd members rested) and/or to utilizing the low-competition feeding opportunities at pasture (e.g. Barroso et al. 2000).

The degree of spatial avoidance associated with the four feeding categories (i.e. the extent to which the categorized behaviour allowed the respective animal to evade, avoid or bypass competition and/or conflict) decreased in the following order: consuming bedding straw, feeding hay through the barrier at the short end of the feeding table, feeding vigilant at the feeding places, feeding normally at the feeding places. The opportunity to select high amounts of nutrient-rich plant parts runs in the opposite direction: Feeding straw offers unlimited access to feed but provides only low nutrient contents (Gall 2001).

The relative proportions of the categories at group level demonstrate that in Period 1 over 50% dry-roughage feeding time was spent with feeding straw. Remarkably, already at this stage 18% of the time was spent feeding normally, and this percentage equaled the proportion of feeding vigilant. The percentage of feeding through the barrier of 11% is surprisingly high, considering the small area of the barn at which this behaviour could be exhibited: the short end of the feeding table measured just 2m compared with 2x16m available at each long side for feeding normally or vigilantly and 342m² for consuming straw (cf. chapter 2.2). The fact that this percentage remained extremely stable in Period 2 (10%) suggests that these positions were occupied by some young goats at any time during the preferred feeding time.

From Observation Period 1 to Period 2, the recorded total amounts of dry-roughage feeding had doubled, indicating that the young animals began to 'join in' at the preferential times. Changes in the feeding category proportions, however, did not follow a linear succession pattern, i.e. a shift from feeding straw to feeding vigilant being accompanied by a similar shift from feeding vigilant to feeding normally. The increase of feeding vigilant by an extra 22% was accompanied by a similar decrease in feeding straw (-17%), and feeding normally (instead of a pronounced increase) decreased by 4%.

4.2 Individual feeding patterns

4.2.1 Diversity of individual feeding patterns

Plotting the individual feeding patterns (quantitative combinations of the four categories) according to their predominant category along the two dimensions (nature and percentage of the category) revealed rather different pictures for the two periods. The distinct dominance of feeding straw in Period 1 and the equal prevalence of feeding straw and feeding vigilant in Period 2 that were evident at group level are mirrored in the distribution of individual patterns. The 'normal', i.e. most common, category of dry-roughage consumption in replacement goats within 14 weeks following their introduction is not feeding normally, but initially feeding straw, later being complemented by feeding vigilantly.

Comparing the overall distributions of individuals across the two dimensions between the periods, the picture of Period 1 appears spread out, particularly along the X-axis within feeding straw as the predominant category. In Period 2, the overall distribution pattern appears 'centralized' with respect to both dimensions of the plot. Primary Types in pronounced form are almost non-existent. The horizontal range of percentages within feeding straw as the dominant category has shrunk (from 35% to 94% in Period 1) to 38% to 66%, and the range of the now similarly frequent category, feeding vigilant, is rather alike (with the exception of the one outlier).

Overall, from Period 1 to 2 the initially rather diverse distribution has become considerably homogeneous and \pm stable patterns have crystallized. These patterns are 'moderate' patterns (Mixed Types and Primary Types in moderate form). With increasing familiarity of the 'newcomers' with both, their physical and social environment, additional behavioural options become available which in turn facilitate feeding vigilantly at the site most preferred by higher ranking goats during preferential feeding periods.

4.2.2 Feeding types

Two additional levels of individual diversity that persists through Period 2 become evident when not just the predominant category of an individual is considered, but additionally the proportions of the remaining categories as well as individual changes from Period 1 to 2.

Classifying the individual feeding patterns in the form of the nine possible feeding types (Mixed Type + 4 Primary Types in moderate and pronounced form, respectively) showed that in both periods 5 types had been realized. Both, the types and the numbers of goats allocated to the types, differed. Upon depicting the proportions of all feeding categories that the individual had engaged in, a considerable degree of inter-individual variation becomes evident between animals that cluster when just the predominant category is regarded. Comparing each individual's feeding types in the two periods reflects the developments already evident at group level and when considering purely numerical changes, such as the partial shift from feeding straw to feeding vigilantly. Tracing the individuals' transitions between the feeding types, however, reveals the individual diversity within the overall numerical shift. Of the 15 individuals available for these comparisons, only 5 remained within the same Major Type (Major Types = Mixed Type + the 4 Primary Types, irrespective of their degree). Direction and extent of the transitions varied, and the most common change (5 of the 10 individuals that shifted) was from Primary Type Straw to Primary Type Vigilant.

4.3 Associations between feeding patterns and individual-specific characteristics

The primary aim of the study was to explore and describe the variation of and temporal changes in the four different feeding categories (both, at group and individual level) and to identify potential similarities.

Having identified common patterns, the next stage is to explain the observed distributions. Inferences about causations require hypotheses and an experimental or at least balanced study design with sufficient sample size and, ideally, repetitions. The present study was devised as an observational explorative 'pilot study' to assess if an in-depth investigation of

the dry-roughage feeding behaviour categories in young replacement goats at the preferred feeding time could be at all worthwhile.

This study cannot offer reasons that explain the observed patterns. A descriptive examination of potential associations between feeding patterns and individual characteristics is, however, of heuristic value and can contribute to identifying factors that should be included in further research.

The 16 young replacement goats differed with respect to three parameters: their time of introduction (Batch 1 three weeks before Batch 2), horn status and body weight. Weight was directly linked to batch membership (batch allocation was based on weight) and batch membership was linked back to weight (only Batch 1 animals were pregnant), hence for weight no assumption can be made about the direction of any effects. Notwithstanding, the projection of weight classes over the distribution of feeding types has an informative value.

4.3.1 Feeding patterns: associations with time of introduction and horn status

To visually explore potential associations between observed individual feeding patterns and the factors batch membership and horn status, respectively, these individual characteristics were projected onto the 2-dimensional distribution plot.

In Period 1, overall, 11 of 15 individuals had exhibited feeding straw as their predominant category, whereby the feeding behaviour of Batch 2-animals was characterized by a higher degree of spatial avoidance than that of Batch 1-members. Within this band, members of Batch 1 show lower percentages of the predominant category and hence higher proportions of other categories, all of which are less 'evasive'. Furthermore, all three of the other Batch 1-animals had feeding normally as their predominant category, whereas the only remaining (and hornless) Batch 2-member predominantly fed through the barrier. With just one individual feeding mostly through the barrier, it cannot be decided whether hornless individuals utilized this feeding site to a greater extent than horned goats. The fully developed horns of adults, however, bear the risk of getting stuck in the barrier while feeding at the head of the table. Getting trapped when a superordinate is approaching and the distance falls below the superordinate's individual tolerance, this leads to agonistic interactions of the higher ranking animal (Aschwanden et al. 2008).

Regarding horn status, horned members of both batches are mostly depicted in the middle section of the X-axis with the predominant category feeding straw. The distribution in Period 2 shows a vertical zoning (far left: exclusively Batch 1-animals, the only animal far right belongs to Batch 2 and is hornless). Thus, in Period 2, the fewer options and the

higher extent of spatial avoidance in Batch 2-animals are even more pronounced than in Period 1. Again, the horned members cluster in the central region.

When batch membership is additionally taken into account, within Batch 1 hornless individuals are depicted further left, within Batch 2 this was the case for animals with horns. This initially puzzling finding might be due to interactive effects between batch membership (or rather their different weights and/or their advanced familiarity with their social and physical surroundings) and horn status: The possession of horns could in Batch 2-animals compensate for their lighter weight and/or lack of experience, resulting in a 'combat value' comparable to that of hornless Batch 1-animals (e.g. Espmark 1964, Bouissou 1972, Côté 2000).

Whether overall batch differences (in Period 1 as well as Period 2) are due to Batch 1's 3-week 'head start' and hence a stronger familiarity with the established herd members, or their higher 'combat' weight, or a combination of both cannot be decided. The observation that the feeding pattern discrepancies associated with batch membership were more pronounced in Period 2 than in Period 1 (where weight differences between the batches had increased markedly), suggests that weight is of at least partial relevance. This would be in concordance with several studies which demonstrated that live weight (related to body height and thorax circumference) influences an animal's dominance status (goats: Sambras 1978, Barroso et al. 2000, cows: Beilharz and Mylrea 1963, Bouissou et al. 2001), which in turn gives privileged access to limited resources (e.g. in our study: hay at the feeding table with limited feeding places).

4.3.2 Feeding patterns: associations with weight

With respect to the entire replacement group, average live weights had risen from Period 1 to 2 by 3kg ($32 \pm 3,5\text{kg}$ to $35 \pm 6\text{kg}$); the most striking aspect being the increase in individual variation (from 13kg to 18kg) due to a substantial increase in maximum values while minimum weights changed little.

Projecting the weight classes onto the 2-dimensional distribution plots of the feeding pattern distributions showed in Period 1 a differentiation along the X-axis: The vertical band left of and touching the 50%-line comprised almost exclusively medium weight individuals, heavy weights clustered in the range between roughly 50% and 60%, and light weights in the area beyond approx. 60%.

In Period 2, the zoning pattern ran in horizontal direction. Animals whose predominant category had been feeding straw were mostly very heavy weights. With straw being very low in energy content (Gall 2001) this is a clear indication that a direct causal link from the

feeding patterns observed during preferential hay feeding times to the actual weight cannot be deduced. Furthermore, this stressed the relevance of the temporal competition avoidance behaviours (feeding hay outside the preferred times and/or grazing) for the replacement goats' energy intake.

Animals with the predominant category feeding vigilant were medium weights, flanked on either side by an individual of high weight, and feeding mainly normally was rare and limited to a heavy and a very heavy individual. The two low weights are difficult to characterize, however the only animal that exhibited a category percentage of >75 was one of them.

4.4 Potential of feeding patterns as indicators of integration progress

The process of integration of 'newcomers' into an established herd spans the time between introduction and full acceptance as herd members.

Even when limiting the focus to studies on goats, the literature regarding the duration of the integration process is rather diverse, ranging from 24 h (Alley and Fordham 1994) to one month (Addison and Baker 1982). These differences are at least partly due to different indicators (and or threshold criteria) being used: e.g. frequency and/or intensity of agonistic interactions addressed at the 'newcomers' (Alley and Fordham 1994), spatial inter-individual distance, or a combination of both (Addison and Baker 1982). The length of time from introduction to full acceptance also depends on the ratio of the number of 'newcomers' and 'old residents' (Patt et al. 2012).

The observed temporal changes in feeding category patterns, both at group and individual level showed directional developments. The pronounced changes between the two observation periods, particularly at individual level, suggests that the duration of integration is most likely longer than the six weeks of observation Period 1.

Integration, in both its meanings, i.e. as the process and the result after completion, can best be described as 'finding one's place in the social structures of the environment'. Studies examining introduction and/or integration often focus on the outcome component (rather than the process), and among the various social structures dominance hierarchy/hierarchies are probably the one(s) most frequently considered (e.g. Addison and Baker 1982, Patt 2013). The social organization of a herd is a multidimensional structure consisting of, e.g., different types of inter-individual bonds and situation-specific dominance relations. These bonds and relations are reflected in and represented as dominance hierarchies, spatial proximity (often activity-specific), movement orders (forced and voluntary), milking orders etc.. Based on the available literature, it would appear that the

length of the integration process differs with respect to the particular component of the social structure with, e.g. agonistic interactions ceasing very quickly, distances stabilizing in the course of weeks, and the present study suggests that dominance-structures related to competition over hay take more than 1 1/2 months to level out. This could suggest that of these three components of social herd structure, hay-related dominance (which is reflected in the graded spatial avoidance associated with the four feeding behaviour categories) might be the most sensitive indicator. To test this, studies which compare different indicators in a simultaneous application are required.

Acknowledgements

We would like to thank Lena Weiß, Kerstin Lübbers and Jan Hendrik Moos for their assistance during data acquisition and -evaluation as well as Ka Schuster and Sabine Dietrich when drafting the manuscript.

References

- Addison WE, Baker E (1982) Agonistic behavior and social organization in a herd of goats as affected by the introduction of non-members. *Appl Anim Ethol* 8:527-535
- Alley JC, Fórdham RA (1994) Social events following the introduction of unfamiliar does to a captive feral goat (*Capra hircus* L) herd. *Small Ruminant Res* 13:103-107
- Altmann J (1974) Observational study of behaviour: Sampling Methods. *Behaviour* 49:227-267
- Aschwanden J, Gygax L, Wechsler B, Keil NM (2008) Social distances of goats at the feeding rack: Influence of the quality of social bonds, rank differences, grouping age and presence of horns. *Appl Anim Behav Sci* 114:116-131
- Aschwanden J, Gygax L, Wechsler B, Keil NM (2009) Structural modifications at the feeding place: Effects of partitions and platforms on feeding and social behaviour of goats. *Appl Anim Behav Sci* 119:180-192
- Barroso FG, Alados CL, Boza J (2000) Social hierarchy in the domestic goat: effect on food habits and production. *Appl Anim Behav Sci* 69:35-53
- Beilharz RG, Mylrea PJ (1963) Social position and behaviour of dairy heifers in yards. *Anim Behav* 11:522-527
- Bouissou MF (1972) Influence of body weight and presence of horns on social rank in domestic cattle. *Anim Behav* 20:474-477

- Bouissou MF, Boissy A, Le Neindre P, Veissier I (2001) The Social Behaviour of Cattle. In: Keeling LJ and Gonyou HW (eds) Social Behaviour in Farm Animals. CABI Publishing, Wallingford
- Côté SD (2000) Dominance hierarchies in female mountain goats: Stability, Aggressiveness and determinants of rank. Behaviour 137:1541-1566
- Espmark Y (1964) Studies in dominance-subordination relationship in a group of semi-domestic reindeer (*Rangifer tarandus* L.). Anim Behav 12:420-426
- Gall C (2001) Ziegenzucht. Ulmer, Stuttgart (Hohenheim)
- Guhl AM, Atkeson FW (1959) Social organization in a herd of dairy cows. Transactions of the Kansas Academy of Science 62:80-87
- Jensen P (1994) Fighting between unacquainted pigs – effects of age and of individual reaction pattern. Appl Anim Behav Sci 41:37-52
- Jørgensen GHM, Andersen IL, Bøe KE (2007) Feed intake and social interactions in dairy goats – The effects of feeding space and type of roughage. Appl Anim Behav Sci 107:239-251
- Kondo S, Kawakami N, Kohama H, Nishino S (1984) Changes in activity, spatial pattern and social behavior in calves after grouping. Appl Anim Ethol 11:217-228
- Lindberg AC (2001) Group Life. In: Keeling LJ and Gonyou HW (eds) Social Behaviour in Farm Animals. CABI Publishing, Wallingford
- Martin P, Bateson P (2007) Measuring Behaviour. An Introductory Guide. Cambridge University Press, Cambridge
- Mench JA, Swanson JC, Stricklin WR (1990) Social stress and dominance among group members after mixing beef cows. Can J Anim Sci 70:345-354
- Mendl M, Deag JM (1995) How useful are the concepts of alternative strategy and coping strategy in applied studies of social behaviour? Appl Anim Behav Sci 44:119-137
- Naguib M (2006) Methoden der Verhaltensbiologie. Springer, Berlin, Heidelberg
- Nordmann E, Barth K, Futschik A, Palme R, Waiblinger S (2015) Head partitions at the feed barrier affect behaviour of goats. Appl Anim Behav Sci 167:9-19
- Patt A, Gygax L, Wechsler B, Hillmann W, Palme R, Keil NM (2012) The introduction of individual goats into small established groups has serious negative effects on the introduced goat but not on resident goats. Appl Anim Behav Sci 138:47-59
- Patt A (2013) Regrouping of Dairy Goats in Loose Housing. Dissertation, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Department Environmental Science
- Patt A, Gygax L, Wechsler B, Hillmann W, Palme R, Keil NM (2013a) Factors influencing the welfare of goats in small established groups during separation and reintegration of individuals. Appl Anim Behav Sci 144:63-72
- Patt A, Gygax L, Wechsler B, Hillmann W, Palme R, Keil NM (2013b) Behavioural and physiological reactions of goats confronted with an unfamiliar group either when alone or with two peers. Appl Anim Behav Sci 146:56-65
- Samraus HH (1978) Nutztierethologie. Das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere – Eine angewandte Verhaltenskunde für die Praxis. Parey, Berlin, Hamburg

- Schein MW, Fohrman MH (1955) Social dominance relationships in a herd of dairy cattle. *Anim Behav* 3:45-55
- Sevi A, Taibi L, Albenzio M, Dell'Aquila S, Napolitano F (2001) Behavioral, adrenal, immune and productive responses of lactating ewes to regrouping and relocation. *J Anim Sci* 79:1457-1465
- Slavnitsch K (2008) Einfluss einer Umgruppierung auf das Sozialverhalten von Milchziegen. Diploma-Thesis, University of Veterinary Medicine Vienna, Faculty of Veterinary Medicine

5 Conclusions

For all animals, feed uptake is essential for survival: An undernourished animal suffering from nutritive deficits will be more prone to become prey and less able to successfully reproduce. In animal husbandry, feed is likewise a factor of central relevance, as it bears substantial and immediate impact on both, animal welfare and economic productivity.

The thesis presented here addresses aspects of the roughage feeding behaviour of goats. It comprises three ethological studies on animals of a high-performance dairy breed (German Improved Fawn = Bunte Deutsche Edelziege) under commercial husbandry conditions. The studies were conducted at a research facility of the Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries (Johann Heinrich von Thünen-Institut), where goats were kept in compliance with European and Swiss Regulations for Organic Agriculture.

Investigations focused on compensatory modifications of roughage feeding behaviour (hay and grass or straw) at two different stages in the life of commercial dairy goats: adult goats of the established main milking herd, and young goats following their introduction into the main herd. The three studies are drawn from the full spectrum of ethological approaches, i.e., methodological, experimental and empiric. All data were analyzed at individual level as well as at herd or group level. The comparatively large dairy herd consisted of 51 and 41 members, respectively (ten animals had been removed in between seasons); whereas 16 individuals comprised the smaller group of so-called replacement goats (German technical term = „Zutreter“, i.e. young females selected to join the dairy herd). For a detailed discussion of the results of each study, the reader is referred to the discussion section within the respective chapter.

After a very brief recapitulation of the three studies comprising this thesis, conclusions subsequently serve to consolidate and combine findings of these investigations, striving to create added value for both, pure and applied science, with applicability including animal welfare as well as economic efficiency (see Figure 1 for visualization of overall thesis structure).

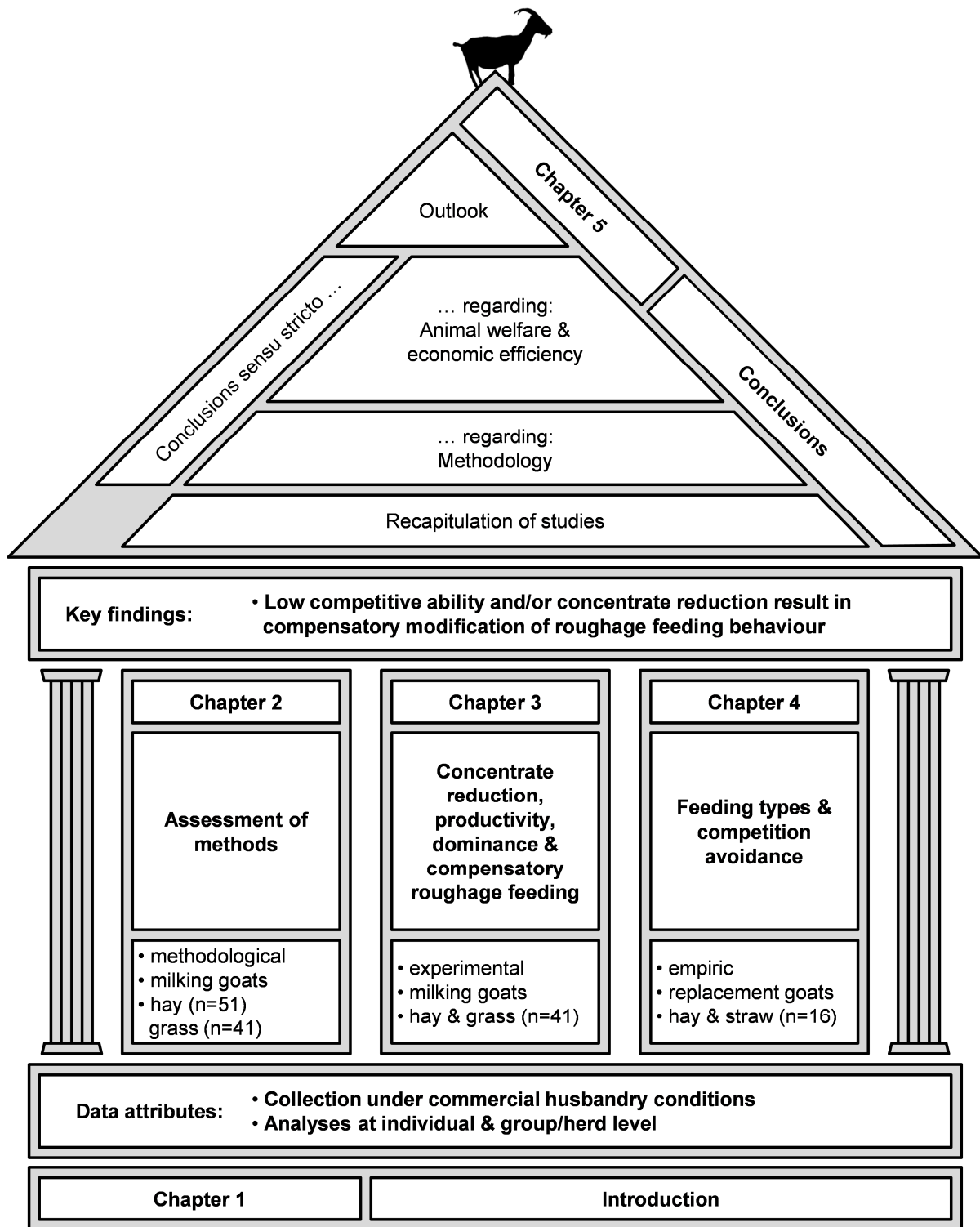


Figure 1: Visualization of overall thesis structure.

The three manuscripts are founded on common data attributes and topped by common key findings. Conclusions serve to point out added value derived from consolidating and combining findings of individual investigations.

5.1 Recaptitulation of the three studies

Prior to data collection for the the core study (Chapter 3), appropriate methods had to be devised and rigorously tested in a preceding methodological study (Chapter 2): No standard protocol existed, which was suitable for the collection of comparable data on roughage feeding behaviour both, at pasture and in the loose-housing barn (each imposing specific constraints). The majority of published studies were conducted either at pasture or in the barn and each applied just one method. None of the few comparative works included more than two methods.

Simultaneously recording the behaviour of more than 40 goats additionally constituted a logistical challenge, not only due to the large number of animals but also with respect to the spatial dimensions of pasture ($> 500 \text{ m}^2$) and barn (approx. 340 m^2).

In this preceding study on the same herd of adult dairy goats to be examined in the core study, the reliability of three visual methods (direct observation, photographs and video recordings) within a time sampling approach was assessed by simultaneous application, and subsequently the most efficient sampling interval for video analyses was identified.

The central study of the thesis (Chapter 3) quantified the grazing and hay feeding behaviour of adult dairy goats in response to a reduction in concentrate feed. Concentrate is made from grain or oilseeds (which would also be fit for human consumption) and enhances livestock productivity. Identifying the right amount is both, crucial and difficult. In an experimental design, effects of two daily concentrate rations on the animals' nutritional state (as reflected in fat-to-protein ratios), productivity parameters (live weight and milk yield) and on their roughage feeding behaviour were investigated.

While the absolute daily amounts of concentrate between the treatment groups differed by one order of magnitude (A: 1000 g vs. B: 100 g per animal and day) and relative amounts of concentrate rations expressed as the percentage of yearly dry matter differed by factor four (see Rahmann and Oppermann 2010 for formula); average differences in milk yield were -17 % and those in weight -6 %; the nutritional state was not affected. Frequencies of roughage feeding behaviour (both, grass and hay) were significantly higher in group B.

Combining this with information on the dominance structure within the herd (as identified from social interactions recorded within the same observation period) suggested that the specifics of compensatory roughage feeding are dominance-dependent, with high-ranking individuals compensating mostly by monopolizing hay, whereas subdominant animals resorted to the low-competition feeding opportunities at pasture.

The modification of roughage feeding behaviour in response to changes in concentrate amounts demonstrated the practical relevance of these behaviours and stressed the

importance of appropriate methods for their quantification. Furthermore, the dominance-related qualitative and quantitative differentiation of this behaviour showed a spatio-temporal competition avoidance behaviour even during times of social stability.

The third study (Chapter 4) hence focused on the replacement goats. Upon entering the herd of adults, they experience a high level of dominance-related social pressure and are frequently but not entirely excluded from access to hay. This empirical investigation quantified their dry-roughage feeding behaviour over the 2 ½ months following their introduction. In an exploratory approach, four categories, differing in their degree of spatial competition avoidance were differentiated.

Changes in the young goats' behaviour indicated an initially high extent of spatial competition avoidance, which had decreased in the second half of the observation period, suggesting that with respect to hay-related dominance the integration process was not completed within the first six weeks.

5.2 Conclusions sensu stricto

5.2.1 Conclusions regarding methodology

Throughout all three studies, observations had been incorporated into the daily husbandry routine. Advantages of this approach were seen in the relatively unaltered environment the study animals were subjected to. Furthermore, this served to test whether the chosen methods would be replicable and thus adoptable in the context of everyday farming practice. Although from an academic point of view, a balanced experimental design and small study groups might be preferable in terms of scientific controllability and logistics, these in themselves might contain a bias and introduce 'ivory tower artefacts' in that they do not closely reflect authentic conditions as experienced by the animals.

The methodological study (Chapter 2) arose from the lack of a standard protocol. Instead of providing orientation and guidance, the related literature turned out to be so diverse with respect to the methods employed that comparability of data across studies was rather limited. Furthermore, few of them had actually tested reliability prior to application. Those investigations which included reliability tests, varied widely with respect to both, the measures used to quantify and the criteria and thresholds applied to assess the extent of similarity between standard and alternative method(s). In some publications, information on the threshold criterion could not be found.

In ethological literature, comparison studies of visual methods as well as of time intervals traditionally employ correlation tests to quantify the extent of similarity, and subsequently use the level of significance to assess whether the similarity suffices. Concerning this

procedure, a number of mathematical reservations have been raised by statisticians. In medical studies, Bland-Altman-Plots have long since been considered the gold standard for method comparisons. The method comparison study included in this ethological thesis hence applied this state of the art test. Bland-Altman calculations quantify, and Bland-Altman plots visualize the extent of similarity. The decision, whether this degree can be considered sufficient, however, rests with the researcher and has to be based on independent, a-priori criteria. In the course of the study presented, a numeric cut-off criterion was devised in the form of the "median of percental deviations" ("Median der prozentualen Abweichungen") and set at a tolerance level of $\leq 10\%$.

The assessment of aptitude of interval lengths was more restrictive than in a number of studies in the literature. The combination of Bland-Altman-Methods with the "median of percental deviations" proved successful and can be recommended for application in future method comparison studies as well as the preceding phases of application studies. It is hoped that the protocol applied and presented in this study will contribute towards increasing the degree of comparability between related investigations as well as to establishing Bland-Altman-Methods as the method of choice also for ethological method comparison studies.

The methodological study (Chapter 2) laid the ground for the experimental investigation (Chapter 3). It demonstrated the relevance of the temporal structure of specific behaviours (e.g. hay and grass feeding behaviour) within the same general behavioural category (i.e. roughage feeding): The length of the longest suitable time interval that rendered reliable data differed between the two specific behaviours. This illustrates that behaviours from different behavioural systems (Funktionskreise, Immelmann and Beer 1992) can be more similar with respect to their temporal organization than those within the same system. Thus, in choosing the appropriate time interval for ethological studies, researchers should not focus on the concrete behaviour itself but rather its abstract quality (temporal organization).

The empirical study (Chapter 4) appears to be the first to differentiate between different categories of hay feeding behaviour. Hence, no methodological protocols were available of how to extract patterns from the considerable variation with respect to individual 'feeding profiles' (i.e. their quantitative combinations of the categories). Arranging individual profiles according to the nature and percentage of their largest category proved a straightforward and effective way for visualizing the distribution across the entire group. The a-priori allocation to types according to the percentage of the largest sector based on 25 %-increments overall corresponded with clustering in the recorded distributions, particularly the 75 % boundary appeared robust for both periods. Regarding the 50 % boundary, the plotted distributions suggest that drawing the line at 50 % might be somewhat artificial and 60 % could be more representative. Only further research can provide the

required information and the presented findings suggest that this should be worthwhile. This predominantly explorative study has demonstrated that a more detailed and differentiating analysis of dry-roughage feeding behaviour can be achieved and yields discernible results of heuristic value (generating hypotheses for future research).

5.2.2 Conclusions regarding animal husbandry

Reflecting on the findings of the studies reveals quite a number of aspects which bear relevance with respect to application in animal husbandry, some of which have the potential to contribute to enhancing both, animal welfare as well as economic efficiency.

Precise determination and adjustment of the required amount of concentrate feed is crucial with respect to both, animal health and performance. If concentrate levels are too low, they not only reduce livestock performance, but also jeopardize animal health (with the risk of ketosis = "metabolic starvation" being particularly pronounced in high-performance breeds). High concentrate levels, on the other hand, increase the risk of metabolic illnesses. The risk of, e.g., rumen acidosis bears relevance with regard to the discussions sparked by the recent abolition of milk-quota subsidies for European dairy cattle farmers: Immediate responses included the proposal that high-performance cows must yield even more milk, which is commonly effected by still higher concentrate feed provisions.

Furthermore, due to concentrate production competing with the production of food for human consumption, controversial discussions enter political dimensions and extend to a global scale.

Among the different components comprising livestock diet, concentrate feed is commonly in the focus of agricultural economists. It provides the highest amounts of energy, it correlates directly with animal performance, and it is also the most expensive.

The findings of the studies into compensatory feeding behaviours of both, the adult dairy animals (Chapter 3) and the young replacement goats (Chapter 4), shift the focus from concentrate towards the economic relevance of the different types of roughage feed, i.e. grass, hay and even straw. These are usually considered of less importance than concentrate. The findings of the presented investigations, however, emphasize the relevance of roughage feeds for animal welfare as well as for maximizing productivity at herd level, while simultaneously being able to reduce concentrate. They thereby identify a potential that is not yet fully realized and utilized. High-ranking animals are usually able to meet their dietary requirements, particularly with respect to energy content and are hence close to their maximum productivity (ceiling effect). Low-ranking animals of the same breed, however, have the same biological output-potential, and providing them with sufficient low-competition feeding opportunities (pasture access) and dry-roughage of high nutritional

quality can substantially benefit their productivity. Utilizing competition avoidance and conflict avoidance behaviours of low-ranking animals this way, might even result in reduced overall costs for feed, as the costs for good quality roughage are less than those for concentrate.

The experimental study on the dairy herd (Chapter 3) directed attention towards hay and grazing and demonstrated that with respect to the animals' nutritional balance, both of the low concentrate levels prescribed in organic agriculture (with the Swiss guidelines being more restrictive than EU regulations) were successfully compensated. Access to pasture, however, was deemed essential.

Regarding weight and particularly milk yield, productivity was lower in group B (100 g concentrate per animal and day). This should, however, be weighed against the costs of concentrate feed. Possibly, feeding reduced amounts of concentrate saves more money than is lost through lower milk yield. Overall economic outcome thus depends on fluctuating prices for concentrate (e.g. wheat) and milk, which in the case of dairy cows includes milk quota subsidies.

The empiric investigation of the young replacement goats following introduction into the main herd (Chapter 4) supports the relevance of low-competition feeding opportunities (pasture and/or access to hay via temporal competition avoidance) with respect to productivity (in this case weight development). Furthermore, the marked prevalence of straw consumption and its persistence over 14 weeks (if not more) indicates another as yet underestimated (or even overlooked) potential: Straw was provided as bedding material and its nutritional value is considerably lower than that of hay. However, its substantial prevalence both at individual and at group level shows that it might pay off to invest in good-quality straw in the months following introduction of the replacements. And husbandry systems without straw bedding ought to take extra care to ensure sufficient competition avoidance feeding opportunities.

5.3 Outlook

Overall, the findings indicate and demonstrate the relevance of the so far somewhat 'neglected' roughage and particularly dry-roughage components of livestock diet in the light of both, the output-oriented as well as the animal welfare centred perspective of animal husbandry. Since roughage constitutes an essential component in the diets of all domestic herbivores, the general findings on goats are transferable to other livestock species, such as cattle and sheep. Even within ruminants and particularly the transfer to equids, however, it is needed to account for differences in species-specific feeding types.

Among domestic bovids (cattle, sheep and goats), goats are physiologically and behaviourally adapted to the highest proportion of browse in their diet and exhibit a pronounced selectivity in their choice of plant parts. In comparison with sheep and cattle, the goats' feed selection behaviour and digestive system are more efficient. They, consequently, are more flexible and hence more tolerant in their response to external changes. They could therefore be employed (in the sense of "guinea-goats") to study bovid responses to changes in feeding systems, testing whether metabolically more sensitive species, e.g., cows should be subjected to the measures in question.

Livestock management decisions in general and feeding procedures in particular have a direct and substantial impact on animal welfare, economics and the local as well as global environment.

This thesis presents detailed quantitative studies of roughage feeding behaviour and demonstrates this behaviour's potential for compensating unfavourable feeding conditions, i.e., lower energy intake through reduced concentrate supplementation and/or dominance-related restricted access to preferred feed. It thereby contributes to a more comprehensive understanding of roughage feeding behaviour and facilitates increased utilization in feeding management.

In-depth research focusing on those herd members with low competitive abilities seems particularly worthwhile, since a better understanding of their behavioural compensatory patterns offers farmers the opportunity to further enhance overall herd productivity as well as individual welfare.

References

- Rahmann G, Oppermann R (2010) "Feed less Food" als eine Möglichkeit, die zunehmende Weltbevölkerung zu ernähren. *Applied Agricultural and Forestry Research* (Special Issue) 341:75-84
- Immelmann K, Beer C (1992) *A Dictionary of Ethology*. First Harvard University Press, Harvard

Diese Seiten enthalten persönliche Information und sind daher nicht Bestandteil der Online-Veröffentlichung.

Diese Seiten enthalten persönliche Information und sind daher nicht Bestandteil der Online-Veröffentlichung.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich des Eides statt, dass ich meine Dissertation mit dem Titel „Effects of concentrate feed levels and herd management on roughage feeding behaviour of dairy goats (Einfluss der Kraftfuttermenge und des Herdenmanagements auf das Raufutteraufnahmeverhalten von Milchziegen)“ selbstständig, ohne unerlaubte Hilfsmittel angefertigt und mich keiner anderen als der von mir ausdrücklich bezeichneten Quellen und Hilfen bedient habe.

Die Dissertation wurde in der jetzigen oder ähnlichen Form noch bei keiner anderen Hochschule eingereicht und hat noch keinen sonstigen Prüfungszwecken gedient.

Marburg, den 26.07.2016

(Sybille Schaefer)